



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS / INGENIERÍA EN  
SONIDO Y ACÚSTICA

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE RUIDO DE TRÁFICO AÉREO EN LAS  
ZONAS DE INFLUENCIA DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL MARISCAL  
SUCRE DE LA CIUDAD DE QUITO, ECUADOR

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos establecidos  
para optar por el título de  
Ingeniero en Sonido y Acústica

Profesor Guía  
Ingeniero Miguel Ángel Chávez

Autor  
Andrés Fernando Miño Berrazueta

Año  
2012

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el/la estudiante, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido, y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

.....  
Miguel Ángel Chávez Avilés  
Ingeniero Acústico  
1710724848

### DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”

.....  
Andrés Fernando Miño Berrazueta  
0502515711

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, por haberme criado y guiado en la vida hasta llegar a ser un profesional. A mis hermanas, por su apoyo en toda mi carrera universitaria. A Andrea Arias, por su cariño y fuerzas para seguir adelante sin desfallecer. A mi tía Irlanda Miño, por su colaboración a lo largo de mis estudios. Al resto de mi familia, por darme su mano cuando la necesitaba. A mis amigos, por siempre darme el mejor consejo. A Miguel Ángel Chávez, por su guía con mi trabajo de titulación. A Luis Bravo, por su tutoría a lo largo de mi carrera universitaria. A mis profesores, por compartir su preciado conocimiento conmigo. A Marcelo Terán y a Diego Eguiguren, por facilitarme la información necesaria. A mis compañeros y colegas, por su ayuda intelectual en mis estudios.

## DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada a todas las personas que me han ayudado para llegar a este momento tan importante en mi vida; en especial a mis padres, mis hermanas y a Andrea Arias, mi esfuerzo es, y será siempre para ustedes.

## RESUMEN

La presente investigación se basa en la evaluación del impacto acústico causado por el tráfico aéreo del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre en la ciudad de Quito, Ecuador. La evaluación de impacto consiste en analizar el modelamiento de las actividades de las aeronaves, realizado en el *software* INM (*Integrated Noise Model*) 7.0, el cual entrega como resultado un mapa de contornos de ruido. De esta manera es posible identificar aquellas zonas afectadas por el ruido, producto del funcionamiento del Aeropuerto de Quito, en función de lo establecido por la normativa local que regula el ruido causado por aeropuertos. El modelo se realizó con información de movimientos aeronáuticos entregada por la Dirección General de Aviación Civil (DGAC), correspondiente a un mes promedio del año 2011. Los resultados obtenidos por el modelo computacional fueron comparados con los resultados del monitoreo continuo realizado por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, a través de la Secretaría de Ambiente.

La metodología utilizada para el desarrollo de la tesis fue inductiva puesto que se inició con el análisis de las particularidades del problema realizando el modelamiento y las mediciones desde sus inicios camino a las generalidades del mismo y al final se obtuvo una conclusión global del impacto de ruido producto de todos los procesos específicos realizados anteriormente; en otras palabras, el trabajo se realizó de modo experimental.

## **ABSTRACT**

This research is based on the evaluation of noise impact caused by air traffic of the Mariscal Sucre International Airport in Quito, Ecuador. The impact evaluation consists in analyzing the modeling of the aircrafts activities, performed in the software INM (Integrated Noise Model) 7.0, which delivers at its output a noise contour map. In this manner it is possible to identify those areas affected by the noise from the operation of the Airport, according to the provisions of local legislation regulating noise from airports. The model was made with aircraft movement information provided by the Civil Aviation Department of (CAD), corresponding to an average month in 2011. The results obtained by the computer model were compared with the results of the continuous monitoring performed by the Metropolitan District municipality of Quito, through the Department of Environment.

The methodology used for the development of this research is inductive since the thesis was started with the analysis of the characteristics of the problem by modeling and measuring since its inception way to generalities of it and finally obtaining an overall conclusion of the noise impact, all these product of the specific processes previously performed, in other words, the work was carried out experimentally.

## ÍNDICE

Contenido	Página
1. CAPÍTULO I: Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. Alcance	4
1.4. Justificación	5
1.5. Hipótesis	6
2. CAPÍTULO II: Marco teórico	7
2.1. Fundamentos sobre ruido de aeronaves	7
2.1.1. Caracterización acústica de una aeronave a partir del ruido del sobrevuelo.	8
2.1.1.1. Introducción	8
2.1.1.2. El Efecto <i>doppler</i> acústico	9
2.1.1.3. El efecto del “filtro peine”	10
2.1.1.4. Metodología de frecuencias	12
2.1.1.5. Resultados de directividad	17
2.2. Descriptores y parámetros	18
2.2.1. Nivel Promedio Día-Noche ( $L_{DN}$ )	18
2.2.2. Nivel Promedio Anual Día-Noche ( $Y_{L_{DN}}$ )	18
2.2.2. Ecuación de Ruido Total	19
2.2.3. Otros Descriptores y parámetros	20
2.2.3.1. Índices de exposición al ruido de aeronaves con ponderación A	20



2.2.3.2. Parámetros percibidos corregidos por presencia de tonos	21
2.2.3.3. Índices de exposición al ruido de aeronaves con ponderación C	21
2.3. Software de modelamiento de ruido	22
2.3.1. Introducción a INM 7.0	22
2.3.2. Posibles aplicaciones	23
2.3.3. Método de cálculo	24
2.4. Mapas de ruido	26
2.4.1. Definición de mapa de ruido	26
2.4.2. Utilización de los mapas de ruido y sanciones	26
2.4.2.1. Objetivos e información de un mapa de ruido	26
– Objetivos de un mapa de ruido:	26
– Información básica de un mapa de ruido:	26
2.4.2.2. Sanciones	27
– Imposiciones:	27
3. CAPÍTULO III: Descripción de la situación actual del aeropuerto	28
3.1. Ubicación del Aeropuerto	28
3.2. Descripción de las trayectorias	29
3.3. Problemas por la proximidad a la fuente de ruido	31
3.3.1. Efectos Fisiológicos	31
3.3.1.1. Efectos sobre el sistema nervioso central	31
3.3.1.2. Efectos sobre el sistema neurovegetativo.	31
3.3.1.3. Efectos sobre el sistema endócrino.	32
3.3.1.4. Efectos gastrointestinales.	32
3.3.1.5. Efectos sobre el sueño.	32

3.3.2. Efectos Psicológicos	32
3.3.2.1. Reacción individual frente al ruido.	32
3.3.2.2. Reacción colectiva frente al ruido.	33
4. CAPÍTULO IV: Desarrollo experimental	34
4.1. Metodología a utilizar	34
4.2. Proceso de modelamiento de las zonas de afectación en INM 7.0	34
4.2.1. Levantamiento de la información	34
4.2.1.1. Parámetros a modelar en INM 7.0	40
4.2.1.2. Resultados del modelamiento en INM 7.0	41
4.2.1.3. Mapa de ruido obtenido del modelamiento	43
4.3. Monitoreo de Ruido	46
4.3.1. Punto de medición	46
4.3.2. Parámetros a considerar	48
4.3.3. Resultados finales del monitoreo de ruido	48
5. CAPÍTULO V: Validación de la evaluación por modelamiento acústico del impacto de ruido de tráfico aéreo	49
5.1. Comparación de los resultados obtenidos	49
5.1.1. Comparación del $Y_{LDN}$ obtenidos en ambos estudios, similitudes y diferencias	49
5.1.2. Cumplimiento de la norma técnica establecida TULSMA, LIBRO VI, ANEXO 9	51
5.1.3. Mapa de densidad poblacional, estimación de la población afectada.	57
6. CAPÍTULO VI: Análisis del costo del estudio	59
7. CAPÍTULO VII: Conclusiones y Recomendaciones, Referencias, Anexos	60

7.1. Conclusiones	60
7.2. Recomendaciones	62
7.3. Referencias	63
<b>ANEXOS</b>	65
ANEXO 1: Normativas, Normativa Nacional, TULSMA, LIBRO VI, ANEXO 9	66
ANEXO 2: Flota aérea actual	80
ANEXO 3: Cuadro de tráfico aéreo utilizado (Daily)	82
ANEXO 4: Asignación de aeronaves en INM 7.0	84

# 1. CAPÍTULO I: Introducción

---

## 1.1. Antecedentes

El Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de la ciudad de Quito, abrió sus puertas en el año de 1935, en primera instancia como campo de aviación con infraestructura básica; el seis de agosto de 1960 se inaugura el Aeropuerto el cual se proyecta a cumplir funciones Internacionales con mejoras y ampliaciones en su infraestructura. La necesidad de un nuevo aeródromo surge a finales de la década de los sesenta cuando los aviones jet se introdujeron en la aviación comercial y por consiguiente se requiere la mejora en la infraestructura aeroportuaria y el cumplimiento de modernas normas internacionales que se implementaron en el mismo, que permanece hasta hoy.

La Dirección General de Aviación Civil (DGAC) recibe estudios de la posible ubicación del nuevo aeropuerto de Quito en el año de 1976, posteriormente en 1989 la institución decide comprar un terreno en Tababela, población ubicada a veinte y cinco kilómetros de la ciudad de Quito para la proyección de la construcción del nuevo Aeropuerto, proyecto que se aprueba en el año 2000. Actualmente se encuentra en la fase de construcción y se tiene previsto el inicio de operaciones para febrero del año 2013. [21]

La Corporación Quiport S.A. se encarga de la administración del actual aeropuerto así como también de la construcción del nuevo aeropuerto. Quiport se conforma por las empresas *AECON*, *Airport Development Corporation* (ADC), *HAS Development Corporation* (HAS-DC) y *Andrade Gutiérrez Concessões* (AGC). [22]

El Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre se encuentra ubicado dentro de la ciudad de Quito, en la parroquia de la Concepción a 8km del centro histórico de la capital en las coordenadas geográficas 00°08'28"S 78°29'19"O, en decimal -0.141111°, -78.488611° a una altura de 2813 metros sobre el nivel del mar (msnm) y con una pendiente longitudinal promedio de 1.5%, las dimensiones de la pista son de 3120 metros de largo por 45 metros de ancho con una calle de rodaje de 3120 metros de largo por 23 metros de ancho y una plataforma para aeronaves de 75000 m<sup>2</sup>. [12]

El hecho de que el aeropuerto esté ubicado dentro de la ciudad, causa que una extensa área de la misma se vea afectada por el ruido que las aeronaves generan en su aproximación, aterrizaje o despegaje. Este fenómeno puede resultar perjudicial para los habitantes de la ciudad principalmente para las personas que residen en las cercanías del Aeropuerto. Ya que el nivel de presión sonora que generan las aeronaves es elevado y la exposición a este ruido resulta perjudicial para la audición humana incluso a grandes distancias, esta exposición podría generar fatiga auditiva, problemas de estrés y daños en la salud en general a corto y largo plazo.

Los mapas de ruido son utilizados como un documento para indicar los niveles de presión sonora que existen en áreas específicas. Estos ayudan a tomar decisiones en: desarrollo de planes, programas y proyectos preventivos, correctivos o de seguimiento. Estos mapas deben ser utilizados y aplicados también en la elaboración, desarrollo y actualización de los proyectos de ordenamiento territorial. [5]

Se tiene facilidad de información respecto y facilidad de acceso a datos de movimientos de aeronaves y tráfico aéreo gracias a que se ha podido conseguir contacto con personas las cuales manejan el sistema aeroportuario en la ciudad de Quito, personas como el Ingeniero Jorge Marcelo Terán Alzamora (Departamento de Ingeniería de la Dirección General de Aviación Civil DGAC).

También se cuenta con información al respecto en teoría y práctica referente al control de ruido y el impacto ambiental, así como planteamientos, modelamientos, procedimientos, mediciones y prácticas, aspectos que se llevarán a cabo en la realización del trabajo de titulación por medio de la ayuda del Ingeniero Miguel Ángel Chávez, profesor guía en el trabajo a realizarse.

En primera instancia se realizará el modelamiento del ruido de tráfico aéreo en el *software* INM 7.0 (*Integrated Noise Model*) de la *Federal Aviation Administration* (FAA) de los Estados Unidos de Norte América el cual fue diseñado por la empresa de sistemas *ATAC Corporation* y *LeTech Incorporated*, programa en el cual se diseñará el modelo del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre por medio de la modificación de parámetros técnicos, de dimensiones, ubicaciones, entre otros; luego se procederá a generar mapas de ruido cuyos contornos de nivel de presión sonora indicarán los posibles niveles de ruido que existen en diferentes zonas de la ciudad debido al tráfico aéreo. Posteriormente se realizará la validación de este modelo por medio de mediciones en la ciudad de Quito para poder estimar, observar, comparar, y validar el modelo a utilizar. [8] [9] [19]

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo General

- Realizar la evaluación del impacto de ruido de tráfico aéreo en las zonas de influencia del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de la ciudad de Quito, Ecuador. [19]

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Integrar la información geográfica del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre en el *software* de modelamiento.
- Obtener información precisa sobre las operaciones de tráfico aéreo del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito.
- Realizar el modelamiento del ruido generado por el tráfico aéreo del Aeropuerto de Quito en el *software* INM 7.0.
- Definir y caracterizar las zonas de influencia (zonas que son afectadas por el ruido de tráfico aéreo) del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito.
- Comparar y validar los resultados del modelo con mediciones de ruido.
- Realizar un mapa de ruido producto de las actividades aeronáuticas desarrolladas en el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre.
- Identificar el impacto acústico que se tiene en las zonas de influencia, en función de la normativa local.
- Obtener las diferencias de nivel de ruido entre el modelo en *software* y la medición realizada. [19]

### 1.3. Alcance

El proyecto tiene como alcance total el llegar a realizar la validación del modelo a utilizar, este comprende una estimación, observación, comparación de resultados obtenidos en las respectivas mediciones y las aproximaciones de Niveles de Presión Sonora obtenidos en el modelamiento realizado en el *software* INM 7.0. Posteriormente obtener conclusiones del impacto que genera el ruido de tráfico aéreo en las zonas de influencia (zonas que son afectadas por el ruido de tráfico aéreo) con respecto al Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre en la ciudad de Quito. para esto se realizará una medición con un sonómetro.

Sectores de la ciudad cercanos al aeropuerto a estudiarse:

Las zonas a considerar serán tres:

- Zona de Influencia Alta del Aeropuerto: Aquellas áreas urbanas cercanas a los límites del aeropuerto donde el nivel de ruido ( $Y_{L_{DN}}$ ) causado por el tráfico aéreo será elevado (80-90dB(A)) El impacto acústico es muy significativo.
- Zona de Influencia Media del Aeropuerto: Aquellas áreas urbanas donde el nivel de ruido ( $Y_{L_{DN}}$ ) causado por el tráfico aéreo es moderado (70-80dB(A)) debido a la atenuación por distancia. En esta zona el impacto de ruido generado por el aeropuerto es significativo.
- Zona de Influencia Baja: Aquellas áreas urbanas donde el nivel de ruido ( $Y_{L_{DN}}$ ) es bajo (menor a 70dB(A)). El Nivel de ruido es atenuado por la distancia y por la lejanía a la zonas de aproximación o despegue de las aeronaves. En esta zona el impacto de ruido generado por el aeropuerto será poco significativo.

Las tres zonas de influencia serán consideradas en las cercanías del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito, considerando como el punto más alejado a la tercera zona de influencia.

Cabe indicar que los resultados del modelamiento realizado en el *software* INM 7.0 únicamente considera el ruido generado por las aeronaves. No contempla el ruido de otras actividades como el tráfico vehicular, industrias, etc. [19]

## 1.4. Justificación

La construcción del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito se llevó a cabo en la década de los años treinta, cuando la ciudad era muy pequeña. En ese entonces, Quito llegaba en el Norte hasta la avenida de la Colón y en el Sur hasta el Panecillo. Por lo tanto se puede concluir que el Aeropuerto en un principio fue construido en las afueras de la ciudad, pero Quito comenzó a crecer rápidamente desde la segunda mitad de la década de los setenta, quince años después de su inauguración en donde la ciudad empieza a convivir con el ruido generado por las operaciones del Aeropuerto. [21]

La investigación de ruido ambiental causado por los movimientos de aeronaves, se realiza ya que es un estudio necesario de desarrollar cuando una gran fuente de ruido se encuentra en medio de una ciudad, no muchas ciudades tienen su aeropuerto dentro de ella sino en las afueras de estas por varias razones y una de estas es el impacto que genera el ruido aeronáutico sobre las zonas cercanas al aeropuerto (llamadas zonas de influencia en el presente documento).

Los proyectos aeroportuarios proyectan la construcción de nuevos aeropuertos, nuevas pistas o su remodelación, como es el caso del nuevo aeropuerto de Tababela. Este tipo de proyectos causan impacto ambiental por lo que deben presentar un “Estudio de Impacto Ambiental” (EslA) que identifique, entre otros, el impacto acústico en la zona e implemente medidas de control y mitigación. [19]

Es por ello que se vinculará el estudio a las normativas y a la necesidad de validar un modelo creado y utilizado en los países desarrollados ajustándolo a la realidad local. [19]



## 1.5. Hipótesis

La realización de este estudio permitirá obtener información sobre la exposición de ruido producto de las actividades de tráfico aéreo del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre, específicamente en la población que reside en las zonas de influencia del mismo.

El crecimiento de la ciudad de Quito, conjuntamente con una falta de planificación territorial provocó que el Aeropuerto actualmente se ubique dentro de la ciudad, causando un problema significativo de contaminación acústica. Este problema no solo afecta a los residentes cercanos al aeropuerto, sino que abarca una extensa zona de influencia asociada con las rutas de despegue y aterrizaje.

**Hipótesis:** “El impacto acústico generado por el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre en las zonas de influencia de las rutas de vuelo es significativo, de acuerdo a los resultados del modelo realizado mediante el programa INM 7.0”

Para la realización del mapa de ruido se utilizará el *software* INM 7.0 el cual requiere de información primaria de entrada que incluyen datos geográficos, de tráfico aéreo, entre otras. Los resultados del modelo se compararán con los resultados del monitoreo continuo que se realiza en un punto ubicado dentro de la zona de influencia. Para la validación se utilizarán indicadores, procesos, diagramas, cuadros, gráficos, esquemas y demás herramientas las cuales permitirán que la validación sea exitosamente realizada, analizada e interpretada para obtener posteriores conclusiones de la contaminación acústica que genera el aeropuerto en la ciudad de Quito. [19]

## 2. CAPÍTULO II: Marco teórico

---

### 2.1. Fundamentos sobre ruido de aeronaves

Para cuantificar el ruido producido por aeronaves en las cercanías del aeropuerto, se utilizan varios descriptores, entre estos se puede nombrar varios indicadores útiles para la evaluación de ruido ambiental aeronáutico.

En todo caso, para obtener un valor indicador de ruido, se necesita la utilización de datos de emisión de ruido de las aeronaves que son difíciles y costosos de obtener.

En el presente subcapítulo se presentará una metodología para llegar a obtener los datos requeridos para medir el ruido de la aeronave durante su sobrevuelo, aterrizaje y despegue.

Para esto los autores de este estudio, grabaron el ruido de manera digital y esta señal de audio la analizaron mediante un programa de procesamiento de señales, para obtener el espectrograma correspondiente en el cual se pueden apreciar dos patrones de líneas espectrales. El primer patrón es un conjunto de líneas que representarán los armónicos de la frecuencia fundamental de los motores. En el segundo patrón se podrá apreciar un conjunto de bandas con forma hiperbólica. Estas son la consecuencia del filtro peine que genera la aeronave. El estudio de lo anteriormente mencionado permite calcular el ángulo de sobrevuelo y la altura de la aeronave.

Una vez que se haya establecido la geometría del sobrevuelo, se vinculará cada punto con el ruido medido y analizado espectralmente por computadora en la ruta de interés para así obtener el diagrama polar de emisión de ruido de la aeronave. [10]

## 2.1.1. Caracterización acústica de una aeronave a partir del ruido del sobrevuelo.

### 2.1.1.1. Introducción

OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) es la entidad que monitorea la actividad aeronáutica civil mundialmente. En el año de 1944 en Chicago surge un convenio el cual se pone en práctica en el año de 1971. Finalmente el anexo queda titulado como “Protección del Medio Ambiente”, su primer volumen se refiere al ruido de las aeronaves, documento en el cual se exponen las normas y métodos recomendados internacionalmente.

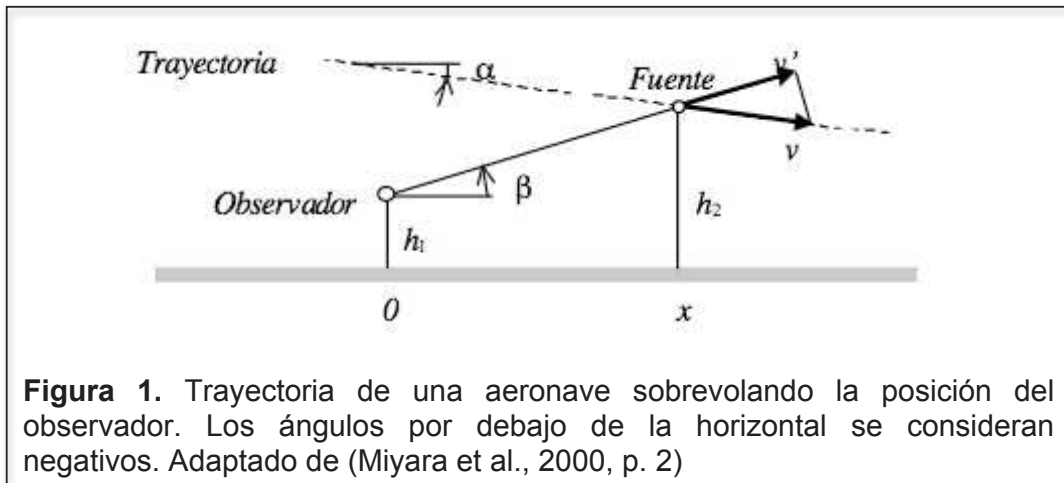
Además del documento antes mencionado hay más publicaciones de este tipo como por ejemplo la circular 205: “Método Recomendado para Calcular las Curvas de Nivel de Ruido en la Vecindad de los Aeropuertos”, publicaciones las cuales ofrecen métodos y recomendaciones para la evaluación del impacto acústico de los aeropuertos.

La obtención de datos sobre la emisión de ruido de aeronaves puede resultar costosa ya que esta requiere que las operaciones de sobrevuelo de la aeronave sean modificadas para realizar la medición de ruido de esta fuente. Es decir, se debe aislar la nave de su uso normal comercial lo cual es difícil ya que significaría una pérdida económica considerable para la aerolínea.

Es de aquí que nace una metodología que puede determinar parámetros acústicos de ruido a partir de mediciones realizadas mientras las aeronaves se encuentran en sus operaciones normales. Esta se comprende de la grabación digital del ruido de la aeronave y a partir de su espectrograma trazar su trayectoria y determinar cada instante de tiempo con una posición determinada. Siguiendo a esto es posible obtener el espectro de ruido emitido en cada dirección realizando correcciones con la ayuda de las normas ISO 9613-1 y la ISO 9613-2. De aquí se obtendrá el resultado el cual es el espectro de nivel de potencia sonora con la corrección de directividad de la aeronave como fuente de ruido. [10]

### 2.1.1.2. El Efecto *doppler* acústico

El denominado efecto *doppler* es un efecto acústico muy común que se da cuando existe un movimiento relativo entre la fuente sonora y el receptor. Se caracteriza por un aparente cambio frecuencial mientras el móvil pasa por el punto donde el receptor se encuentra con respecto a la frecuencia que realmente la fuente emite.



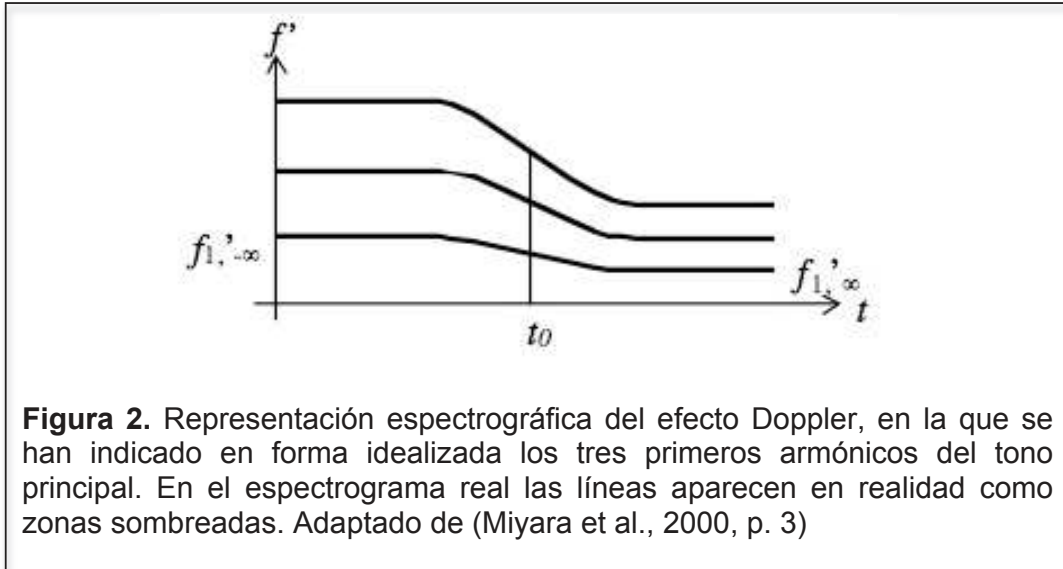
$$f' = \frac{c - v_w \cos \beta}{c - v_w \cos \beta + v \cos(\beta - \alpha)} f.$$

**Fórmula 1.** Ecuación de frecuencia aparente percibida por el receptor en efecto *doppler* respecto a aeronaves. Adaptado de (Miyara et al., 2000, p. 2)

Donde:

- $f$ : Frecuencia realmente emitida por la fuente,
- $f'$ : Frecuencia aparente percibida por el receptor,
- $c$ : Velocidad del sonido,
- $v_w$ : Velocidad del viento (paralelo al terreno),
- $\alpha$  y  $\beta$ : Respectivamente los ángulos entre la horizontal y la trayectoria de la aeronave como se muestra en la figura 1,
- $v$ : Velocidad de la Fuente.

En la siguiente figura se muestra el espectrograma que representa a los tres primeros armónicos de la frecuencia fundamental.



Para determinar la velocidad “v” del avión puede ser calculada usando la siguiente ecuación:

$$v = \frac{c - v_w}{\cos \alpha} \frac{f'_{-\infty} - f'_{\infty}}{f'_{-\infty} \frac{c - v_w}{c + v_w} + f'_{\infty}}$$

**Fórmula 2.** Ecuación de la velocidad “v” del avión. Adaptado de (Miyara et al., 2000, p. 3)

Donde:

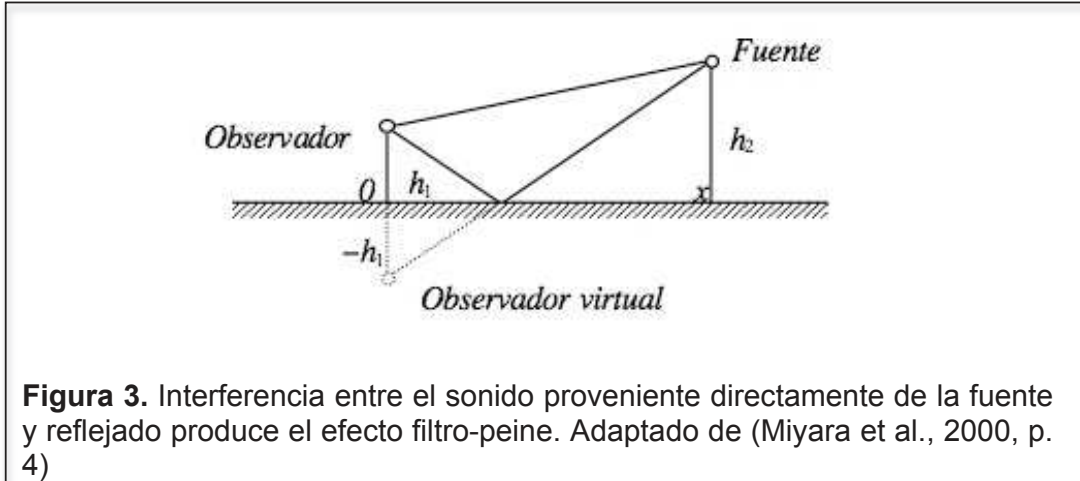
- $f'_{-\infty}$ : frecuencia detectada por el observador antes del sobrevuelo,
  - $f'_{\infty}$ : frecuencia detectada por el observador después del sobrevuelo.
- [10]

### 2.1.1.3. El efecto del “filtro peine”

El efecto de “filtro peine” es el resultado entre la interferencia entre el sonido directo y el sonido reflejado en una superficie cercana, en la mayoría de casos, el suelo.

Este efecto se puede percibir al pasar caminando frente a un extractor de aire o aire acondicionado, también se da en la microfónica de señales de audio donde el filtro peine debe ser evitado.

En el caso de aeronaves, el efecto de filtro peine servirá para determinar la altura de la aeronave como se ve en la siguiente figura:



Si la distancia del sonido emitido por el sonido directo y el sonido reflejado es igual a media longitud de onda del sonido, o a cualquiera de sus múltiplos impares, entonces las ondas llegarían al receptor en contrafase dando como resultado una interferencia destructiva obteniendo una cancelación entre la onda directa y la onda reflejada. La ecuación para modelar este fenómeno se muestra a continuación:

$$\sqrt{(h_2 + h_1)^2 + x^2} - \sqrt{(h_2 - h_1)^2 + x^2} = (2n-1)\lambda = \frac{2n-1}{f}c,$$

**Fórmula 3.** Ecuación de cancelación entre la onda directa y la onda reflejada de la aeronave con referencia al receptor. Adaptado de (Miyara et al., 2000, p. 4)

por lo tanto:

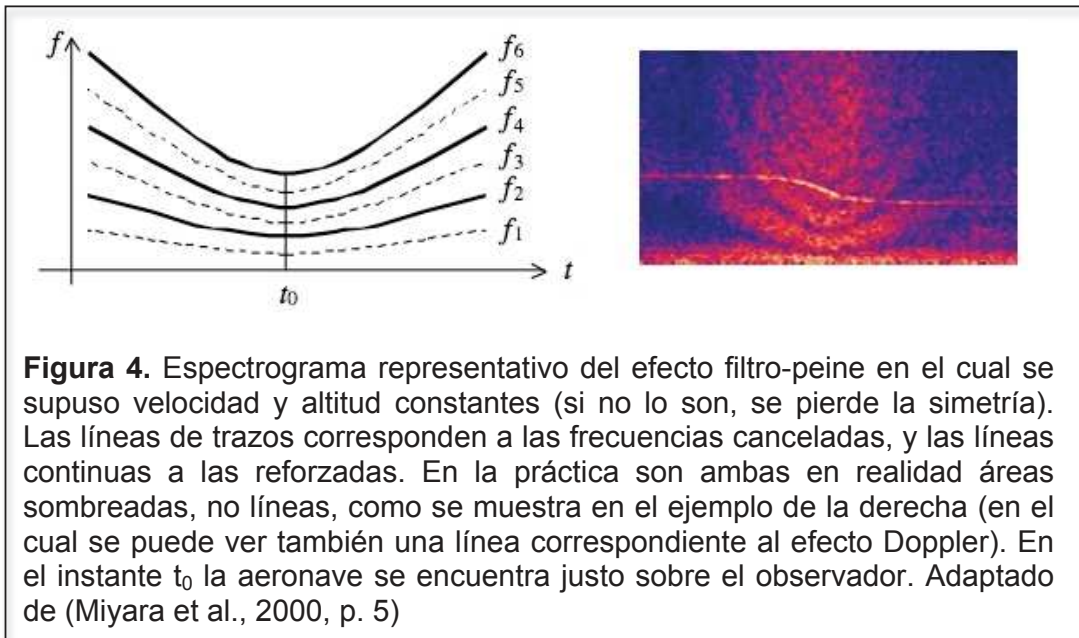
$$f = (2n-1) \frac{c}{\sqrt{(h_2 + h_1)^2 + x^2} - \sqrt{(h_2 - h_1)^2 + x^2}}.$$

**Fórmula 4.** Ecuación de cancelación entre la onda directa y la onda reflejada de la aeronave con referencia al receptor. Adaptado de (Miyara et al., 2000, p. 4)

Los múltiplos ( $n= 2, 4, \dots$ ) pares corresponden a longitudes de onda coincidentes y estos llegarán al receptor en fase y con un nivel elevado. Por lo tanto se puede concluir que habrá una alternancia entre frecuencias atenuadas y otras acentuadas.

En la práctica existen más factores que afectarán este fenómeno como por ejemplo la absorción del terreno a donde las ondas del sonido directo lleguen (presencia de césped, hierba, etc.). Este factor puede reducir la amplitud del sonido reflejado correspondiente a un desfase, el resultado de esto sería una cancelación frecuencial incompleta.

En la siguiente figura se muestra como el filtro peine se representa gráficamente conjuntamente a la teoría de frecuencias por medio del espectrograma correspondiente. Esta será la forma más difusa que adopte en la práctica. [10]

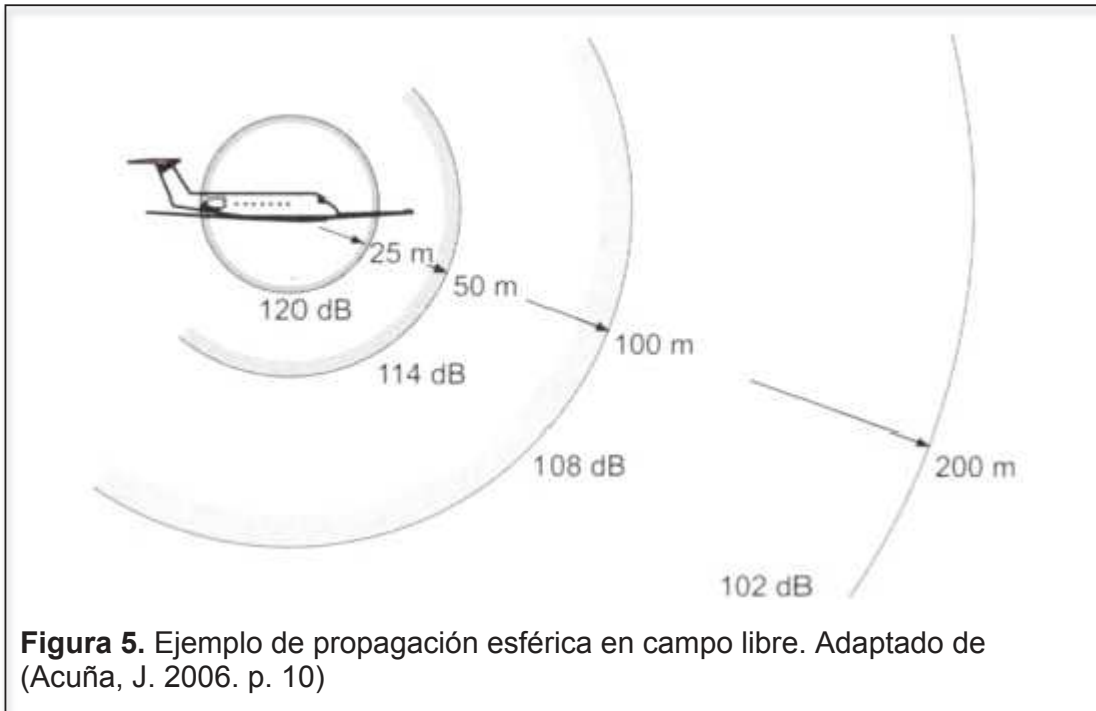


#### 2.1.1.4. Metodología de frecuencias

Primeramente se analizará la propagación de ondas sonoras en el aire las cuales siempre viajan por un medio elástico, en nuestro caso se propagan por medios sólidos y principalmente por el aire. Ya que el estudio propuesto se enfoca a ruido de aeronaves, se deduce que la propagación de ondas sonoras se dará por medio de la atmósfera. Ahora analizando los medios sólidos se tendrá la transmisión estructural que reducen la energía de la aeronave a lo largo del medio de transmisión de vibraciones, estos son

mecanismos los cuales trabajan por medio de difracción o dispersión de energía, la reflexión de la misma y su absorción estructural.

Si tomamos una fuente sonora puntual omnidireccional  $Q=1$  (fuente que radia energía de manera uniforme en todas las direcciones) en campo libre habrá una atenuación de 6dB cada vez que se duplica la distancia como se ve en la siguiente figura:

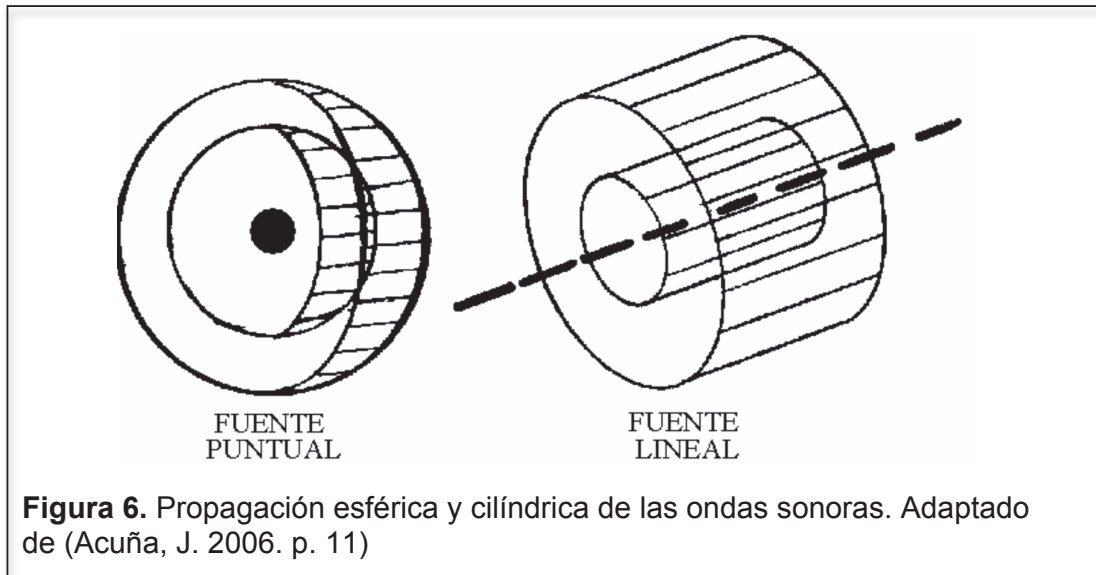


Si la fuente es lineal, la atenuación al doblar la distancia será de 3dB.

Sin embargo, estas fuentes perfectamente lineales u omnidireccionales son ideales ya que ninguna fuente emite ruido con niveles de presión sonora perfectamente iguales hacia todas las direcciones, sino que irradian ruido con niveles de presión sonora diferentes en cada dirección y en cada frecuencia. Se puede categorizar a una fuente como puntual cuando sus dimensiones sean relativamente pequeñas en relación a la distancia que la separa del receptor, este es el caso de las aeronaves sobrevolando a distancia a grandes alturas, de esta manera la aeronave se comportaría como una fuente omnidireccional que irradiaría idealmente el mismo nivel de presión sonora hacia todas las direcciones.

Por otro lado, si la aeronave se encuentra muy cerca al receptor y se encuentra en vuelo rectilíneo (vuelo característico cuando se da el aterrizaje o el despegue) se puede considerar a esta como una fuente lineal en donde el ruido será emitido por medio de una distribución lineal a lo largo de la trayectoria de la aeronave.





La aeronave es un sistema mecánico conjunto de una serie de elementos fuentes generadoras de ruido con características sonoras considerables, la mayor fuente de ruido de la aeronave es indudablemente el motor a reacción (turborreactor), como también existen aeronaves propulsadas por motores a hélice los cuales son una fuente de ruido elevada.

Cabe recordar que si la aeronave es propulsada a hélice se tomará a esta frecuencia como el valor de  $f$  o a la frecuencia principal de las turbinas de jets para de esta manera determinar la velocidad a partir de la ecuación (2) se utilizan frecuencias detectadas unos segundos antes y unos segundos después alrededor de  $t_0$  (Momento cuando la aeronave está lo más cerca al receptor). Ya que la aeronave va a una velocidad considerable, estas frecuencias se aproximan bien a  $f'_{-\infty}$  y  $f'_{\infty}$ .

Una vez conocida la velocidad, se utiliza la siguiente ecuación para determinar la proyección vertical de la aeronave sobre el terreno "x" en el tiempo "t"

$$x = v \cdot t \cdot \cos \alpha.$$

**Fórmula 5.** Ecuación de la proyección vertical de la aeronave sobre el terreno "x" en el tiempo "t". Adaptado de (Miyara et al., 2000, p. 5)

Donde (Ver Figura 1. Figura 2. Y Figura 3.):

- x: distancia longitudinal sobre el terreno,
- v: velocidad de la fuente,

- t: tiempo desde el punto 0 hacia x,
- $\alpha$ : ángulo entre la horizontal y la trayectoria de la aeronave

Posteriormente, para varios instantes se estima la frecuencia cancelada denominada “ $f_3$ ” por medio de interpolación gráfica como se ve en la figura 4. De ahí con la utilización de la ecuación 4 se puede obtener la altura  $h_2$ . Los momentos “tk” se determinan de modo que la resta de ( $\beta - \alpha$ ) de como resultado valores convenientes ( $15^\circ, 30^\circ, \dots, 165^\circ$ , etc.).

Luego se filtra la señal por filtros de banda de octava desde 63Hz – 8kHz, de tercio de octava en el rango de 50Hz – 10kHz y para cada banda se determina un nivel equivalente sobre intervalos cortos centrados bordeando los momentos “tk” (instantes de tiempo en intervalos de 1 segundo) así obteniendo niveles de banda  $L_{i,k}$ , a partir de estos niveles y la ubicación de la aeronave se logra obtener el nivel de potencia sonora corregido por efectos de directividad acorde con la norma ISO 9613-2.

$$L_{WD,i,k} = L_{W,i,k} + D_k = L_{i,k} - A_{i,k}$$

**Fórmula 6.** Ecuación de el nivel de potencia sonora corregido por efectos de directividad. Adaptado de (Miyara et al., 2000, p. 5)

Donde:

- $D_k$ : Término de corrección por directividad,
- $A_{i,k}$ : Término de atenuación.

Este término de atenuación viene dado por la siguiente ecuación:

$$A_{i,k} = A_{div} + A_{atm} + A_{terreno} + A_{pantalla} + A_{misc}$$

**Fórmula 7.** Ecuación de atenuación total del ruido de aeronaves hacia el receptor Adaptado de (Miyara et al., 2000, p. 5)

Donde:

- $A_{div}$ : Atenuación por divergencia geométrica,
- $A_{atm}$ : Atenuación Atmosférica,
- $A_{terreno}$ : Atenuación por efectos del terreno,
- $A_{pantalla}$ : Atenuación por efectos de apantallamiento,
- $A_{misc}$ : Atenuación por efectos misceláneos como edificaciones, vegetación, etc.

La  $A_{div}$  viene dada por la siguiente ecuación:

$$A_{div} = 20 \log (d/d_0) + 11 \text{ dB}$$

**Fórmula 8.** Ecuación de atenuación por divergencia. Adaptado de (Miyara et al., 2000, p. 6)

Donde:

d: distancia desde la fuente,

$d_0$ : 1m (dist. de referencia).

La  $A_{atm}$  se determina dependiendo de la temperatura ambiente y la humedad relativa además de la frecuencia, esta  $A_{atm}$  puede estimarse por la norma ISO 9613-1. En todo caso la  $A_{atm}$  viene dada por la ecuación:

$$A_{atm} = \alpha(d)/1000$$

**Fórmula 9.** Ecuación de atenuación atmosférica. Adaptado de (Acuña, J. 2006. p. 16)

Donde:

$\alpha$ : coeficiente de atenuación atmosférico en decibeles por kilómetro, en cada frecuencia central de banda de octava

d: distancia de propagación en metros.

La  $A_{terreno}$  toma en cuenta el efecto de filtro peine característico en estos casos, también especificada por la norma ISO 9613-2. La ecuación para el cálculo de la  $A_{terreno}$  es la siguiente:

$$A_{terreno} = 4,8 - (2h_m / d) [17 + (30 \text{ 0}/d)] \geq 0 \text{ dB}$$

**Fórmula 10.** Ecuación de atenuación terreno. Adaptado de (Acuña, J. 2006. p. 16)

Donde:

$h_m$  : altura media del camino de propagación sobre el suelo

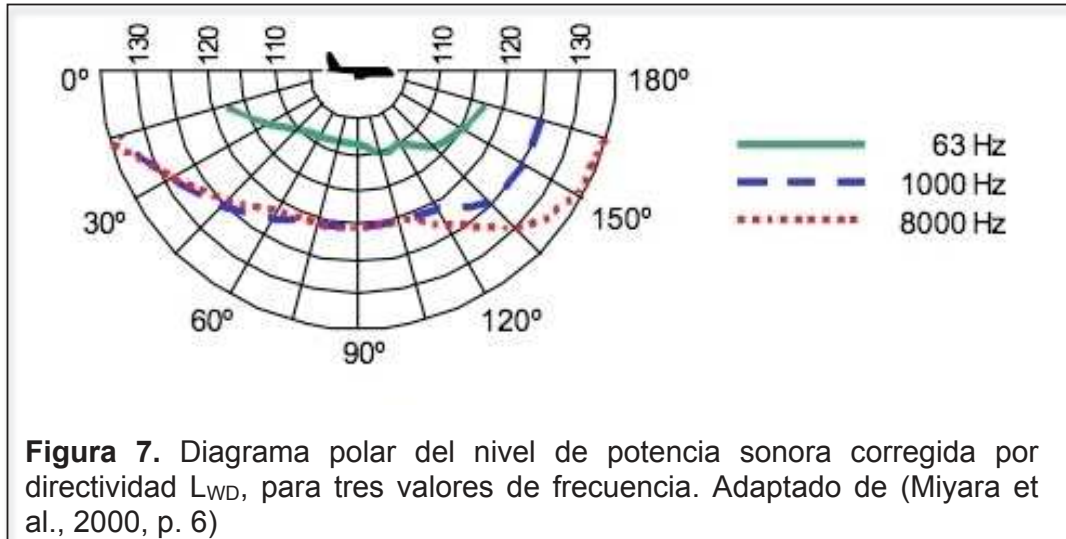
d: distancia fuente – receptor.

El estándar ISO 9613 no toma en cuenta el ruido de aviación, este se vuelve aplicable al estudiar aeronaves a baja altura en las proximidades de aeropuertos al realizar operaciones de aterrizajes y despegues. [1]

La  $A_{pantalla}$  y la  $A_{misc}$  se evitan en este tipo de estudios por lo tanto pueden ser despreciables, es decir se evade los efectos de apantallamiento, las reflexiones de superficies que no sean el terreno inferior, así como también los efectos de misceláneos como vegetación, edificaciones, etc. [10]

### 2.1.1.5. Resultados de directividad

La figura 5 mostrada a continuación refleja un diagrama polar del nivel de potencia sonora corregida por directividad determinado de acuerdo al método expuesto para una aeronave.



Se puede obtener un promedio de las operaciones de aterrizaje y despegue en condiciones normales.

La información previamente desarrollada en este subcapítulo puede ser utilizada para la realización de estudios de impacto ambiental aeronáutico sin la necesidad de acudir a costosos ensayos. [10]

## 2.2. Descriptores y parámetros

### 2.2.1. Nivel Promedio Día-Noche ( $L_{DN}$ )

El nivel sonoro día-noche es aquel índice que calcula el ruido a un nivel integrado en 24 horas de medición con una penalización de 10dB al período nocturno y se define mediante la siguiente ecuación:

$$L_{DN} = 10 \log (1/24) [15 \cdot 10^{L_D/10} + 9 \cdot 10^{(L_N+10)/10}] \text{ dB(A)}$$

**Fórmula 11.** Ecuación de nivel sonoro día-noche. Adaptado de (Acuña, J. 2006. p. 37)

Donde:

$L_D$ : Nivel sonoro obtenido en el día (07h00-22h00)

$L_N$ : Nivel sonoro obtenido en la noche (00h00-07h00 y 22h00-00h00).

### 2.2.2. Nivel Promedio Anual Día-Noche ( $Y_{L_{DN}}$ )

Nivel sonoro anual día – noche estima un nivel promedio en decibeles en los 365 días del año y se dicta por la siguiente fórmula:

$$Y_{L_{DN}} = 10 \log [ (1/365) \sum 10^{L_{dni}/10} ]$$

**Fórmula 12.** Ecuación de nivel sonoro anual día – noche. Adaptado de (Acuña, J. 2006. p. 56)

Donde:

$L_{dni}$ : Nivel sonoro promedio día – noche para cada uno de los días del año ( $i= 1 - 365$ )

### 2.2.2. Ecuación de Ruido Total

Esta ecuación matemática se la utiliza cuando se está midiendo en exteriores y existe incidencia de más fuentes de ruido a la que se desea medir. Ya que solo se quiere captar el ruido de una fuente en especial y no de las demás generadoras de ruido, se puede realizar una corrección por medio de la siguiente ecuación:

$$R_T = R_F + R_f$$

**Fórmula 13.** Ecuación de ruido total. Adaptado de (Chávez, M. 2011.)

Donde:

$R_T$ : Ruido total

$R_F$ : Ruido de la Fuente

$R_f$ : Ruido de fondo

Por ejemplo, en el caso de medición de ruido de tráfico aéreo al realizar la medición se captará el Nivel de Presión Sonora de las fuentes de las que en verdad son de interés, como por ejemplo el ruido de tráfico rodado, el ruido comunitario, fábricas, maquinaria y demás fuentes de ruido propias de la zona, ya que interesa captar tan solo el ruido de las aeronaves, se tratará de aislar las mediciones hechas por el sonómetro de medición de estas fuentes de ruido externas y además se aplicará la ecuación de corrección de ruido total la cual al desarrollarla se ve determinada de la siguiente manera:

$$R_T = 10 \cdot \log (10^{R_F/10} + 10^{R_f/10})$$

**Fórmula 14.** Ecuación de ruido total. Adaptado de (Chávez, M. 2011.)

### 2.2.3. Otros Descriptores y parámetros

Existen otros descriptores y parámetros aplicados para aeronaves los cuales no se utilizarán en este estudio ya que según el TULSMA, LIBRO VI, ANEXO 9 solo se usan los descriptores  $L_{DN}$ ,  $Y_{L_{DN}}$

A continuación se presenta una lista de los otros descriptores:

#### 2.2.3.1. Índices de exposición al ruido de aeronaves con ponderación A

- *Noise and Number Index* (NNI)
- Dosis total de ruido (B)
- Nivel de contaminación Sonora (LNP)
- Nivel percentil ( $L_{90}$ )
- Nivel percentil ( $L_{10}$ )
- Clima Sonoro (NC)
- Nivel Equivalente de Ruido Comunitario ( $L_{CNE}$ )
- Nivel Sonoro Equivalente 24 Horas ( $L_{EQ\ 24}$ )
- Nivel Sonoro Equivalente Día ( $L_D$ )
- Nivel Sonoro Equivalente Noche ( $L_N$ )
- Tiempo por encima de un nivel sonoro, ponderado A (TALA)
- *Composite Noise Rating* (CNR)
- Nivel de exposición Sonora (SEL)
- Nivel máximo ponderado A ( $L_{AMAX}$ )

### 2.2.3.2. Parámetros percibidos corregidos por presencia de tonos

- Nivel de Ruido Continuo Percibido Ponderado (WECPNL)
- Nivel PNLT Máximo (PNLTM)
- Nivel Sonoro Efectivo Percibido (EPNL)
- *Noise exposure forecast* (NEF)
- Tiempo por encima de un umbral PNLT (TAPNL)

### 2.2.3.3. Índices de exposición al ruido de aeronaves con ponderación C

- Nivel de exposición sonora medido, en ponderación C (CEXP)
- Nivel máximo en ponderación C (LCMAX)
- Tiempo por encima de un nivel sonoro con ponderación C (TALC)



## 2.3. Software de modelamiento de ruido

### 2.3.1. Introducción a INM 7.0

El INM es un programa el cual facilita la predicción de ruido aeronáutico. Lo realiza por medio del desarrollo de un método de cálculo que resulta de tener datos de calificación aeronáutica, datos de niveles de ruido de todas las aeronaves antes de obtener el certificado de aeronavegabilidad entendida como la capacidad de un avión para estar listo para volar con seguridad en cualquier ambiente y circunstancia para las que ha sido diseñado y certificado por el fabricante.

A partir de esto, la FAA desarrolla en los Estados Unidos de Norte América, la metodología conocida como INM. Este programa y su metodología han sido utilizados en varios países y es bastante conocida entre los especialistas de modelación de ruido de aeronaves. El software INM está disponible y adopta las prácticas recomendadas por la SAE (Sociedad de Ingenieros Aeronáuticos).

Los países que hacen uso del INM son Australia, Bélgica, Grecia, Japón, España, Estados Unidos, entre otros. Desde su primera versión realizada en 1978, más de 700 organizaciones en más de 30 países lo han utilizado para planificación de uso de suelos refiriéndose a aeropuertos. En Estados Unidos, la fuerza aérea americana tiene su propio modelo de aviación militar denominado “*NoiseMap*” el cual es un modelo análogo al INM.

El modelo INM es utilizado en la FAR (*Federal Aviation Regulation*), parte 150 en planificación sonora de aeropuertos y por la FAA orden 1050.1E2 para estudios de impacto ambiental en USA. En estos procedimientos el usuario del programa debe elegir los valores normalizados que aparecen en la base de datos de las aeronaves.

El modelo INM cuenta con más de 216 aeronaves en su base de datos lo cual hacen de INM una herramienta básica en estudios de impacto ambiental de aeropuertos. Este se ha vuelto indispensable al momento de obtener valores válidos del impacto ambiental sonoro de aeronaves ya que se dispone de datos confiables de ruido generado por las mismas en los diferentes procesos de vuelo en las zonas próximas a un determinado aeropuerto. [1]

### 2.3.2. Posibles aplicaciones

El INM es capaz de ser aplicado en estudios de impacto sonoro ocasionados por:

- Ruido predictivo de movimientos de aeronaves de nuevas pistas.
- Ruido predictivo por modificación del tráfico aéreo y/o su flota aérea.
- Ruido predictivo alrededor de la ubicación de un nuevo aeropuerto.
- Ruido de aeronaves en zonas de influencia próximas a un aeropuerto ya existente.
- El ruido existente en estas zonas a considerar para realizar una planificación de uso de suelos en las cercanías de un aeropuerto.

La navegación aérea es el medio de transporte que más se ve controlado por estrictas normas de seguridad, estas normas incluyen el uso de trayectorias establecidas y procedimientos de vuelo predefinidos. Estas normas estrictas permiten la utilización de valores estándar en las operaciones de vuelo de las aeronaves. En el proceso de modelamiento en INM se recomienda utilizar estos valores estándar de operaciones y trayectorias aunque hayan modificaciones de las mismas a último momento.

Es posible modificar las trayectorias de las aeronaves pero estas modificaciones causan un cambio mínimo en el Nivel de Presión Sonora una vez que se haya constatado el impacto real de las operaciones aeronáuticas estándar. [1]

### 2.3.3. Método de cálculo

INM utiliza un modelo de valor-promedio realizado para aproximar las operaciones de aeronaves en un gran período de tiempo. La finalidad del INM no es determinar los Niveles de Presión Sonora exactos que genera una aeronave específica en un vuelo específico, sino el estimar los Niveles de Presión Sonora generados por una hipótesis de tráfico aéreo. Esto denota la utilización de valores promedio dejando de lado algunos parámetros físicos que influyen en la propagación del ruido ya que no es necesario un grado de precisión exacto en el modelo generado por el *software*.

El programa INM cuenta con una base de datos *Noise – Power – Distance* (Ruido a razón de potencia sobre distancia) más una base de datos de características espectrales (datos utilizados sólo para el cálculo de la atenuación atmosférica). Los datos *Noise – Power – Distance* de una aeronave consisten en varios niveles en dB en función de la potencia de los motores de una aeronave y la distancia del observador a la misma.

Para el cálculo del Nivel de Presión Sonora, el *software* divide las trayectorias en varios segmentos. La ventaja de trabajar con programas de secciones segmentadas de las trayectorias de vuelo es que se puede evaluar bajo condiciones distintas a cada segmento dentro de una misma trayectoria.

Uno de los primeros cálculos a realizar es el geométrico, calcula la distancia más corta entre los distintos puntos de la retícula (Conjunto de hilos o líneas que se ponen en un instrumento óptico para precisar la visión) y la trayectoria de vuelo, la línea perpendicular que los une. En cada segmento de cálculo, la perpendicular, puede estar delante, entremedio o detrás de los puntos que definen el segmento. Es muy importante el cálculo de esta distancia, ya que a partir de esta se determina la energía de exposición sonora de cada segmento por medio de la siguiente ecuación:

$$E_{\text{seg}} = 10^{\frac{(L_{E,P,d-ADJ} + NF_{ADJ} - DUR_{ADJ} - LA_{ADJ} + DIR_{ADJ})}{10}}$$

**Fórmula 15.** Ecuación de energía de exposición sonora de cada segmento. Adaptado de (Acuña, J. 2006. p. 71)

Donde:

$L_{E,P,d-ADJ}$ : Nivel de presión sonora que resulta del proceso de interpolación de la potencia de los motores con el logaritmo de la distancia, ajustándolo con la absorción atmosférica y la impedancia acústica.

$NF_{ADJ}$ : Ajuste de la fracción de ruido para pasar de una trayectoria recta infinita, a la cual se le han calculado las curvas *Noise – Power – Distance*, a una trayectoria de segmentos.

$DUR_{ADJ}$ : Ajuste de la duración de velocidad constante de la aeronave.

$LA_{ADJ}$ : Ajuste de la atenuación lateral.

$DIR_{ADJ}$ : Ajuste de directividad, el cual sólo se aplica en el segmento de trayectoria que se propaga por el suelo de la pista en las operaciones de despegue.

Luego se determina energía de exposición sonora de cada segmento de vuelo mediante la siguiente ecuación:

$$E_{\text{vuelo}} = 10 \log \left[ \sum_{i=1}^{n_{\text{seg}}} E_{\text{seg}(i)} \right]$$

**Fórmula 16.** Ecuación de energía de exposición sonora de cada segmento de vuelo. Adaptado de (Acuña, J. 2006. p. 71)

Y finalmente calcular la energía de exposición sonora total:

$$E_{\text{total}} = 10 \log \left[ \sum_{i=1}^{n_{\text{vuelo}}} E_{\text{vuelo}(i)} \right] [1]$$

**Fórmula 17.** Ecuación de energía de exposición sonora de cada segmento de vuelo. Adaptado de (Acuña, J. 2006. p. 71)

El método de predicción del INM comprende dos efectos, los efectos de la instalación de motores y los efectos del suelo. Actualmente se trabaja en un modelo el cual tiene en cuenta las condiciones del suelo entre duro o blando. Con esto será posible cambiar las condiciones del terreno y escoger entre terreno duro, blando, o mixto, con lo que se logrará que el modelo será más aproximado a la realidad.

## 2.4. Mapas de ruido

### 2.4.1. Definición de mapa de ruido

Los mapas de ruido son una representación gráfica de la distribución del Nivel de Presión Sonora existente en una región, el mapa de ruido es utilizado para desarrollar planes, programas, proyectos preventivos, correctivos o de seguimiento acústico. [5]

### 2.4.2. Utilización de los mapas de ruido y sanciones

Los mapas de ruido son utilizados como soporte técnico en la realización, desarrollo y actualización de los planes de ordenamiento territorial. [5]

#### 2.4.2.1. Objetivos e información de un mapa de ruido

- Objetivos de un mapa de ruido:
  - Permitir la evaluación ambiental de cada municipio en lo referente a contaminación por ruido.
  - Permitir el pronóstico global con respecto a las tendencias de los niveles de ruido.
  - Posibilitar la adopción de planes de acción en materia de contaminación por ruido y en general de las medidas correctivas, preventivas y de seguimiento adecuadas.
  - Establecer las condiciones en las cuales se encuentran los niveles de ruido a nivel nacional. [5]
  
- Información básica de un mapa de ruido:
  - Valor de los niveles de ruido ambiental existentes en cada una de las áreas evaluadas.
  - Delimitación de zonas afectadas de contaminación por ruido.
  - Fecha de elaboración del mapa de ruido.
  - Especificación de la altura a la cual se hace la representación gráfica. [5]

#### 2.4.2.2. Sanciones

En caso de violar las leyes y disposiciones ambientales contempladas en la normativa local, las autoridades ambientales competentes, sancionarán con medidas preventivas y disposiciones reglamentarias. [5]

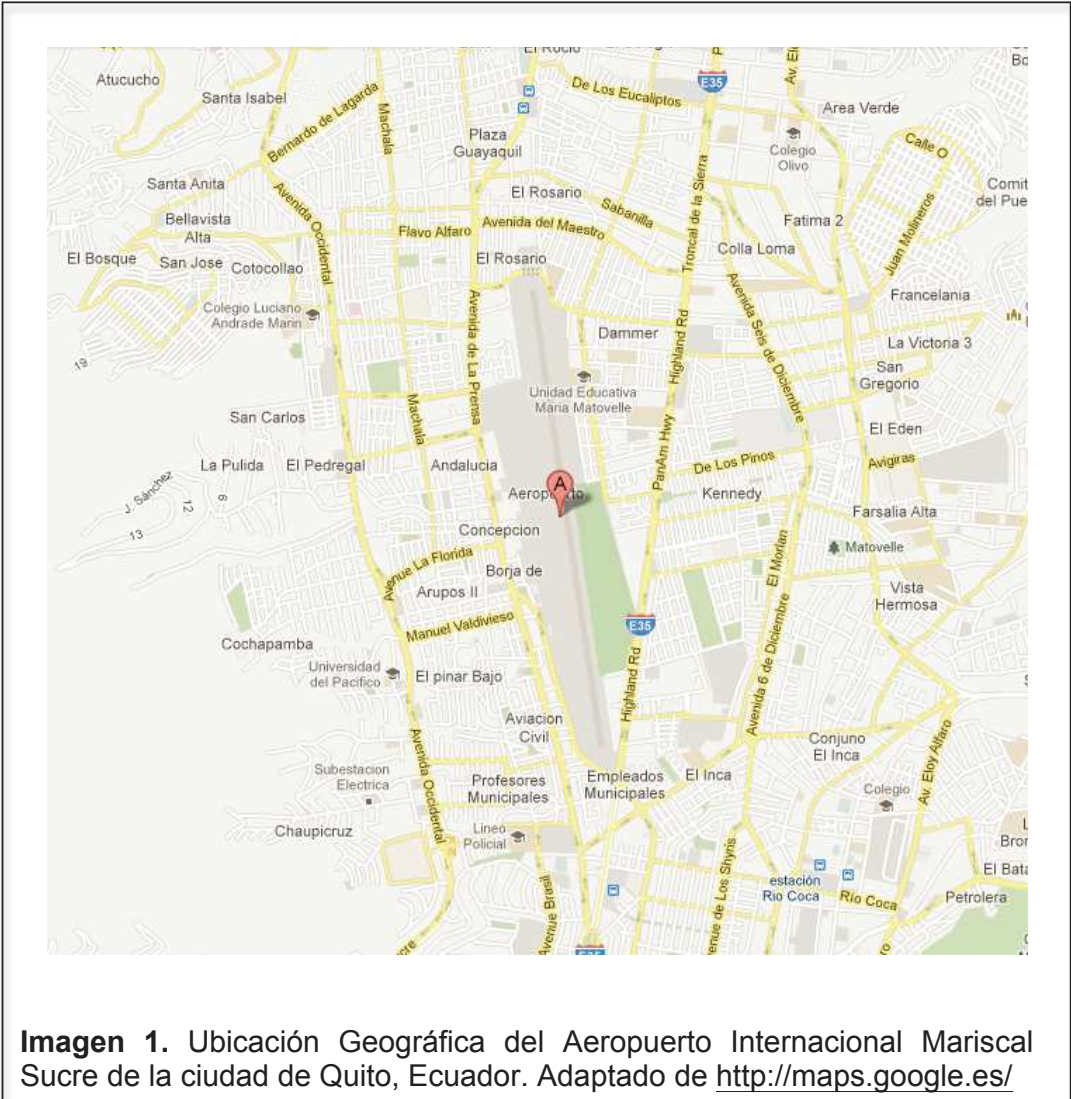
– Imposiciones:

- Multas diarias, pagadas al momento de dictarse la respectiva resolución.
- Suspensión del registro o de la licencia, la concesión, permiso o autorización;
- Cierre temporal o definitivo del establecimiento, edificación o servicio respectivo y revocatoria o caducidad del permiso o concesión;
- Suspensión de obra o actividad, cuando de su prosecución pueda derivarse daño o peligro para los recursos naturales renovables o la salud humana, o cuando la obra o actividad se haya iniciado sin el respectivo permiso, concesión, licencia o autorización. [5]

### 3. CAPÍTULO III: Descripción de la situación actual del aeropuerto

#### 3.1. Ubicación del Aeropuerto

El Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre (AIMS) se encuentra ubicado dentro de la ciudad de Quito, en la parroquia Concepción, a 8km del centro histórico de la capital en las coordenadas geográficas 00°08'28"S 78°29'19"O, en decimal -0.141111°, -78.488611° a una altura de 2813 metros sobre el nivel del mar (msnm) y una pendiente longitudinal promedio de 1.5%, en la siguiente imagen se muestra un mapa de la ubicación del aeropuerto:



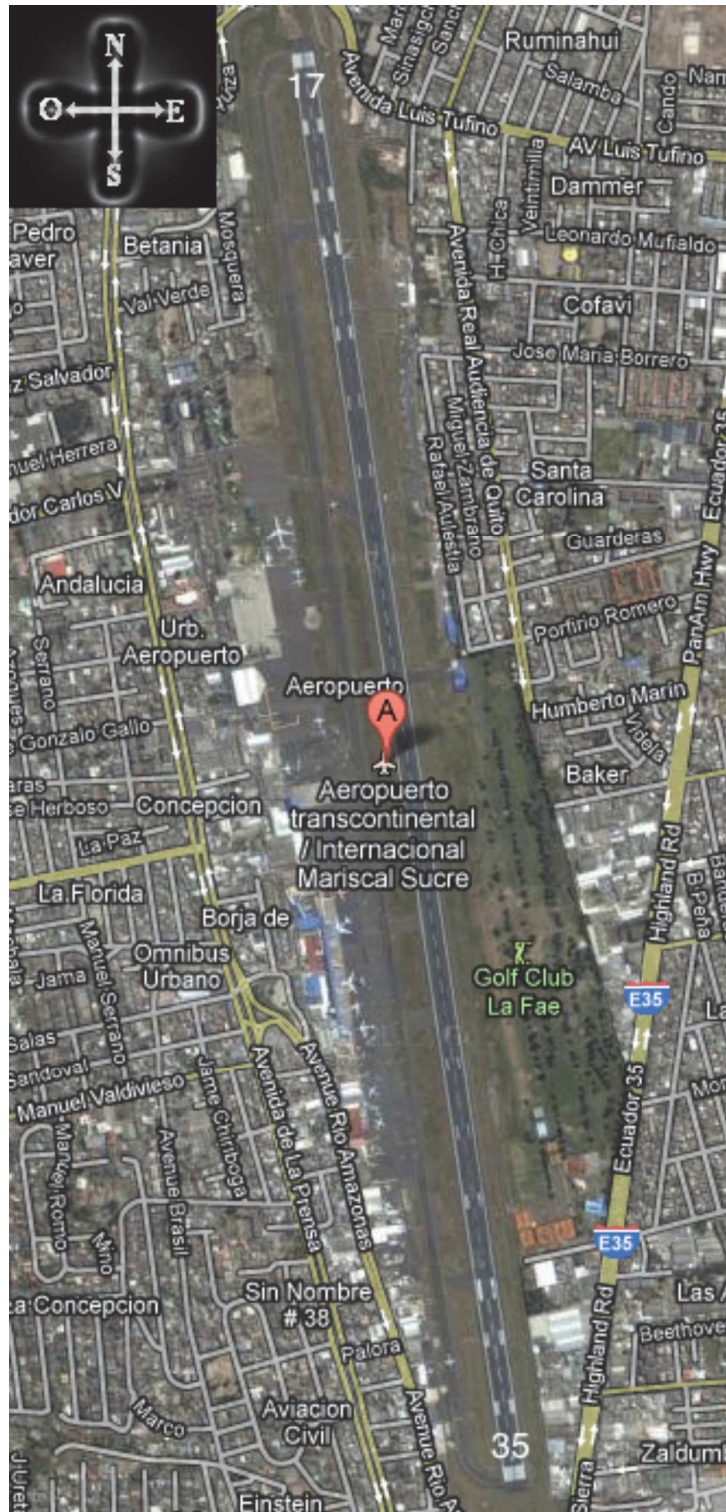
### 3.2. Descripción de las trayectorias

Las trayectorias del Aeropuerto de Quito se definen según la dirección del viento, esto se dicta por la época del año en la cual se opera. Como se sabe, la dirección de despegue o aterrizaje de un avión depende de hacia donde sopla el viento, por lo general se trata de hacer el despegue o bien el aterrizaje en dirección contraria a este. En la ciudad de Quito el viento toma la dirección de norte a sur en los meses de invierno, los cuales son enero – mayo y septiembre – diciembre, es decir el 75% del año. Por otra parte el viento va en dirección de sur a norte en los meses de verano, los cuales son junio – agosto. Esto no quiere decir que la dirección va a ser siempre así, ya que puede variar drásticamente y las decisiones de trayectorias de los aviones las toma la torre de control cuando el avión reporta aproximación a la ciudad para su respectivo aterrizaje o bien notifica su despegue. Por lo tanto se podría decir que esta trayectoria a tomar es variable.

Por estas razones es que de manera estadística la DGAC tiene como resultado la siguiente deducción, el 75% de los despegues se realizan desde la cabecera sur (35) hacia la cabecera norte (17) y los aterrizajes se realizan por la cabecera sur (35). El otro 25% de operaciones se realizan en los despegues desde la cabecera Norte (17) hacia la cabecera sur (35) y los aterrizajes se realizan por la cabecera norte (17). [15] [7]

Otro punto a considerar es el viraje del avión, dependiendo de hacia donde se dirigen las aeronaves, estas realizan un viraje a una distancia aproximada de 12 kilómetros desde la cabecera donde despegaron. Ya que esta distancia es muy larga, no se considera este viraje cuando se realiza el mapa de ruido en el programa INM 7.0, además el TULSMA, LIBRO VI, ANEXO 9 establece que se toma en cuenta la trayectoria hasta la distancia de 9144 metros después de su despegue. Para el aterrizaje la trayectoria de aproximación siempre será recta ya que cuando el avión realiza su aterrizaje este ya viene en trayectoria recta hacia la cabecera mucho antes de ingresar a la ciudad de Quito por lo tanto la línea de aproximación al aeropuerto siempre será recta hacia cualquiera de las cabeceras.





**Imagen 2.** Ubicación de las cabeceras Norte (17) y Sur (35).  
<http://maps.google.es/>

### 3.3. Problemas por la proximidad a la fuente de ruido

Hoy en día existen varios medios tecnológicos que facilitan la vida de las personas, sin embargo no todos estos medios están exentos de generar algún tipo de impacto ambiental.

En el caso estudiado se refiere a impacto ambiental específicamente a ruido el cual puede llegar a causar efectos fisiológicos y psicológicos sobre las personas y pueden llegar a ser irreversibles. Hoy en día hay personas que residen en las cercanías del aeropuerto y pueden presentar algunos de estos problemas. [11]

#### 3.3.1. Efectos Fisiológicos

Son aquellos que se muestran siempre, y dependen de las características físicas del sonido y las condiciones ambientales en que se reciben.

El organismo humano procura defenderse del ruido adoptando una postura defensiva haciendo uso de sus mecanismos de protección y la exposición prolongada al ruido pueden llegar a ser un grave riesgo para la salud. [11]

Un ejemplo de un efecto fisiológico es la Tinnitus temporal o tinnitus permanente. La tinnitus se define como el ruido en los oídos sin fuente externa, esta se percibe como un pitido. La intensidad de este ruido depende del ruido ambiental de fondo, es decir, a menor ruido de fondo, mayor intensidad de tinnitus. La causa más común de tinnitus es por la larga exposición a sonidos o ruido de alto Nivel de Presión Sonora. [13]

##### 3.3.1.1. Efectos sobre el sistema nervioso central

A nivel de este sistema pueden producirse trastornos sensitivos, estados de depresión como de excitación, fatiga, cefalea y modificaciones de tipo epiléptico en encefalograma. Adaptado de (Garzón, C. 2011. p. 17).

##### 3.3.1.2. Efectos sobre el sistema neurovegetativo.

A nivel de este sistema pueden darse trastornos vasculares y vegetativos presentando disminución del volumen cardíaco y aumento de la frecuencia respiratoria. Adaptado de (Garzón, C. 2011. p. 17).

### 3.3.1.3. Efectos sobre el sistema endócrino.

A nivel de este sistema se ha podido observar trastornos de las glándulas suprarrenales como también modificaciones de la glucemia o hiperactividad de la tiroides. Adaptado de (Garzón, C. 2011. p. 17).

### 3.3.1.4. Efectos gastrointestinales.

A nivel gastrointestinal se observa un incremento en casos de gastritis como también aumento en las secreciones ácidas del estómago con una propensión mayor a la úlcera. Adaptado de (Garzón, C. 2011. p. 18).

### 3.3.1.5. Efectos sobre el sueño.

A medida que crece el ancho de banda y la intensidad de ruidos perturbadores de un determinado sonido, la profundidad del sueño decrece considerablemente creando trastornos en el sueño y un estilo de vida más agotador. Adaptado de (Garzón, C. 2011. p. 18).

## 3.3.2. Efectos Psicológicos

Estos se evalúan tomando en cuenta las diferencias de cada persona ya que cada individuo tiene diferente forma de ser y personalidad, estado psíquico y sensibilidad al ruido. Estos efectos presentan alteraciones en la conducta y en el bienestar.

El sujeto afectado percibe el ruido como una amenaza para su estado psíquico y físico, en general para su salud. La conducta de las personas y sus hábitos pueden ser modificados por estos factores. Hay que tomar en cuenta que cada persona tendrá mayor o menor sensibilidad al ruido, es decir, la reacción de las personas dependerá de que tan sensible esta sea al ruido en general. [11]

### 3.3.2.1. Reacción individual frente al ruido.

El ser humano busca bienestar físico y psíquico. De manera individual la persona se protege del ruido reduciendo el ruido en su hogar, no frecuenta lugares ruidosos, cerrando puertas y ventanas, y busca vivir en lugares los cuales no presenten ruido tan elevado. Adaptado de (Garzón, C. 2011. p. 23).

### 3.3.2.2. Reacción colectiva frente al ruido.

Existen barrios y zonas en las cuales el ruido es considerablemente molesto presentando un riesgo para la salud de los moradores de la zona donde habrán reacciones de la comunidad tales como denuncias y demás métodos para tratar de controlar esta molestia. Para esto se cuenta con estándares como la ISO 1996 para la valoración de ruido. Adaptado de (Garzón, C. 2011. p. 23).

## 4. CAPÍTULO IV: Desarrollo experimental

---

### 4.1. Metodología a utilizar

La metodología a utilizar para el desarrollo de la tesis será inductiva puesto que se iniciará en el análisis de las particularidades del problema realizando el modelamiento y las mediciones desde sus inicios camino a las generalidades del mismo ya que al final se obtendrá una conclusión global del impacto de ruido producto de todos los procesos específicos realizados anteriormente; en otras palabras, el trabajo se realizará de modo experimental. [19]

### 4.2. Proceso de modelamiento de las zonas de afectación en INM 7.0

#### 4.2.1. Levantamiento de la información

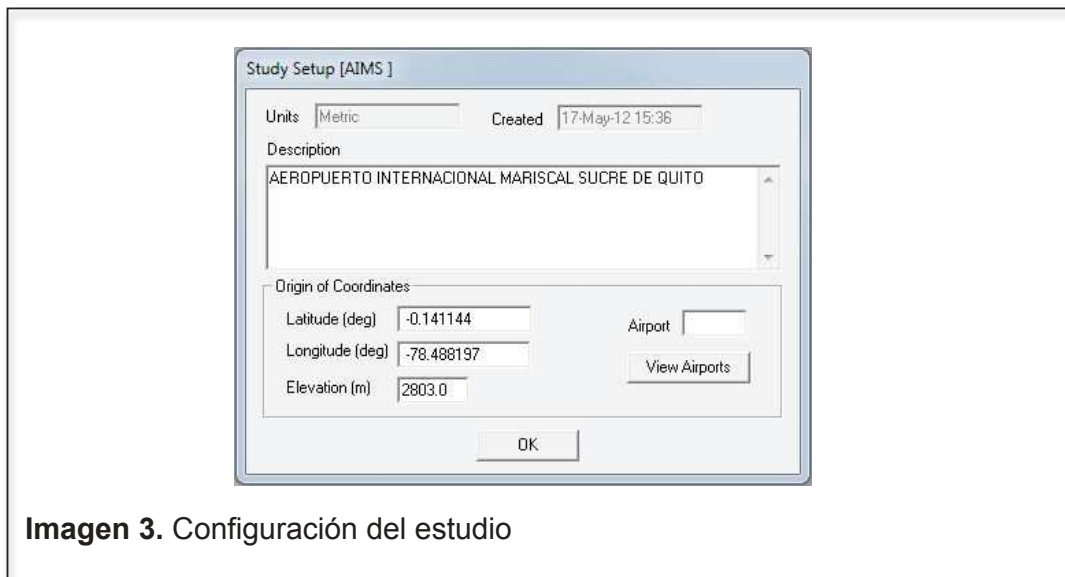
A continuación la información que se recopiló y los procesos que se realizaron para desarrollar el modelo del aeropuerto de Quito por medio de la creación de parámetros en base a un aeropuerto ya existente en la base de datos del INM 7.0.

Para la creación de la pista se ingresaron los siguientes parámetros:

- Ingreso de información general del estudio:

En esta primera operación se ingresan los datos en general del estudio y del aeropuerto principalmente, estos datos son:

- Descripción
- Latitud [17]
- Longitud [17]
- Elevación [6]



**Imagen 3.** Configuración del estudio

- Ingreso de los identificadores de la pista:

Aquí se ingresa los identificadores de las cabeceras de la pista como se ve a continuación:



**Imagen 4.** Identificadores de la pista.

- Ingreso de las cabeceras de la pista:

En este paso se ingresan los siguientes datos de las cabeceras anteriormente creadas:

- Coordenadas: Latitud, longitud [17]
- Elevación sobre el nivel del mar [6]
- Los umbrales desplazados de la pista (Distancia entre los límites de la pista y donde la aeronave toca tierra) [15]
- *Glide Slope* (inclinación en grados de la razón a la cual desciende un avión para el aterrizaje en Quito). [7] [9]

- Umbral de altura de cruce (Altura a la cual se encuentra la aeronave en el momento en que esta está en la misma posición que los límites de la pista). [15] [9]
- Cambio en el viento de la cabecera (%): Esto indica el porcentaje de variabilidad del viento en una cabecera, no se usó este parámetro ya que se prefirió utilizar los datos estadísticos de la DGAC. [15]

Nota 1: Se tuvo un problema con las cabeceras ya que se ingresaron las coordenadas de la cabeceras Norte y Sur exactamente donde deben estar, pero el momento de correr el modelo integrado de ruido se modificaron estas cabeceras, por lo cual se escalaron los contornos de ruido a la pista con sus cabeceras con una aproximación bastante certera.

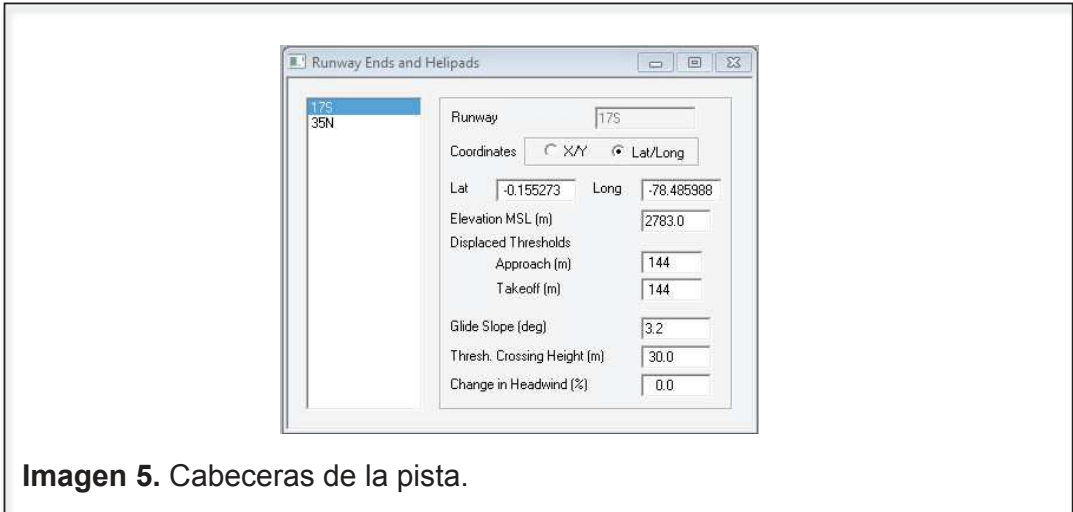


Imagen 5. Cabeceras de la pista.

- Ingreso de los identificadores de la pista:

Aquí se ingresa los datos de los aterrizajes y decolajes de las aeronaves, es decir el proceso de *Approach* (aproximación) y de *Departure* (despegue) en cada una de las cabeceras. [15]

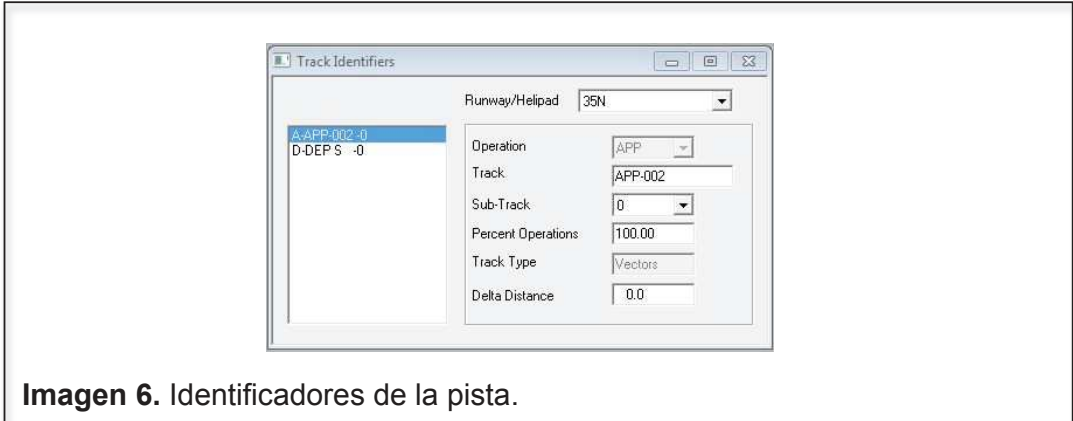
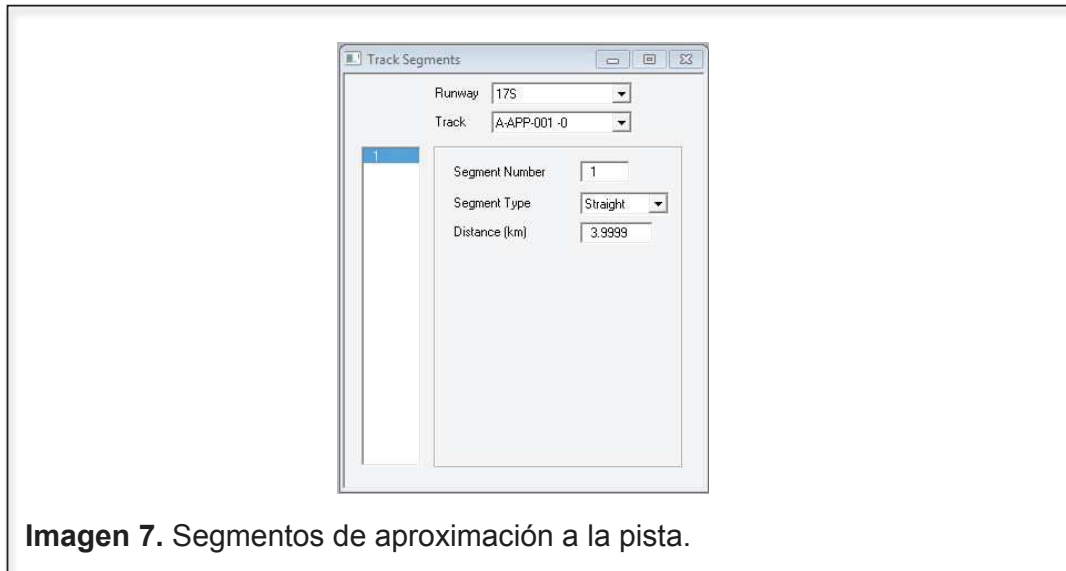


Imagen 6. Identificadores de la pista.

- Ingreso de los segmentos de aproximación a la pista:

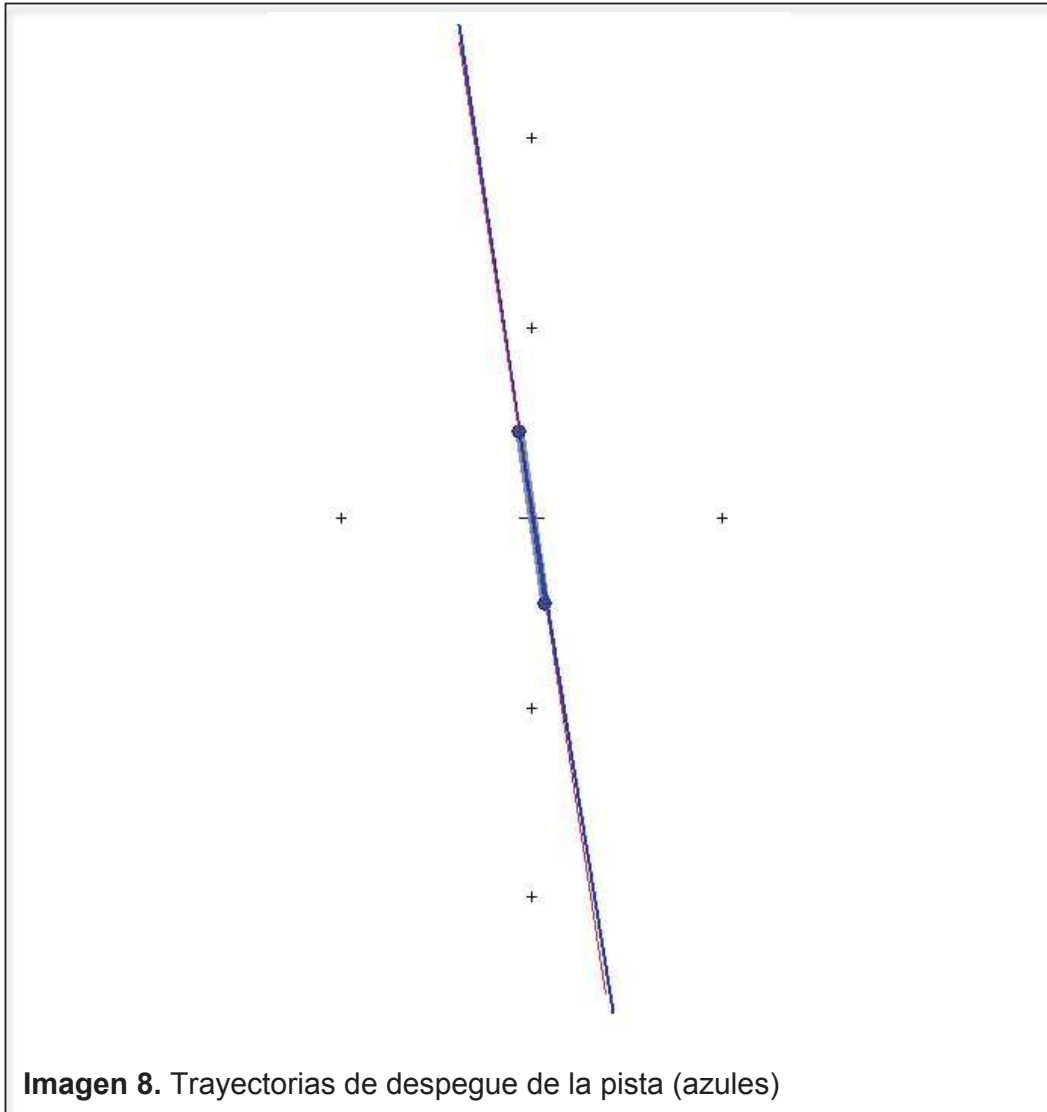
En este paso se procede a ingresar los segmentos de rutas de aproximación al aeropuerto y de despegue desde cada una de las cabeceras, en esta ventana se ingresa esta información como vector. Según lo mencionado anteriormente, las trayectorias serán rectas. [15] [7]



- Ingreso de las trayectorias de despegue de la pista:

En este paso se procede a ingresar los segmentos de rutas de aproximación al aeropuerto y de despegue desde cada una de las cabeceras, en esta ventana se ingresa esta información como puntos, se va trazando las trayectorias manualmente. Según lo mencionado anteriormente, las trayectorias serán rectas. [15] [7]



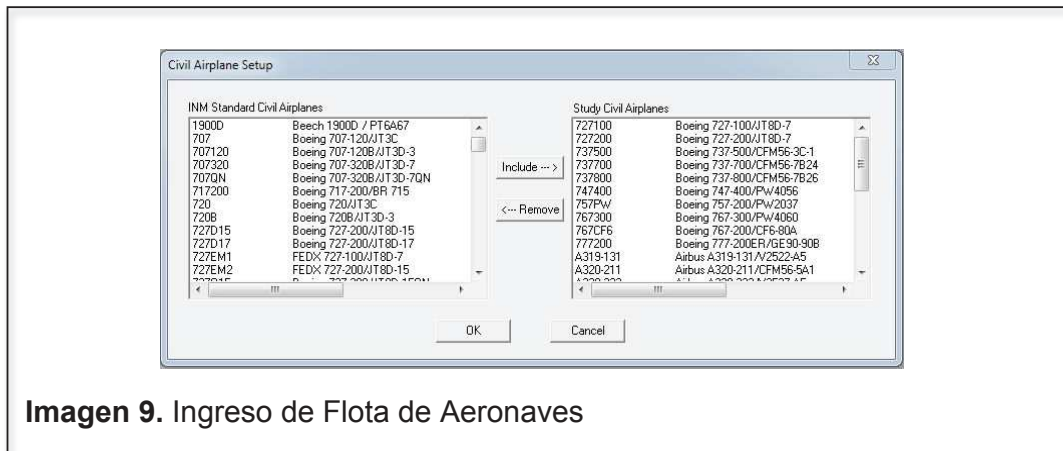


Una vez ingresada la pista en el programa, se procedió a clasificar la información proporcionada por la DGAC [15], en base al *daily* correspondiente a un mes considerado típico (noviembre 2011). La base entregada contiene los movimientos diarios del aeropuerto de manera específica según la aeronave, la matrícula, el tipo de aeronave, el explotador (aerolínea), la hora a la que opera, y el destino o de donde proviene la misma. La información se clasificó dentro de los siguientes grupos:

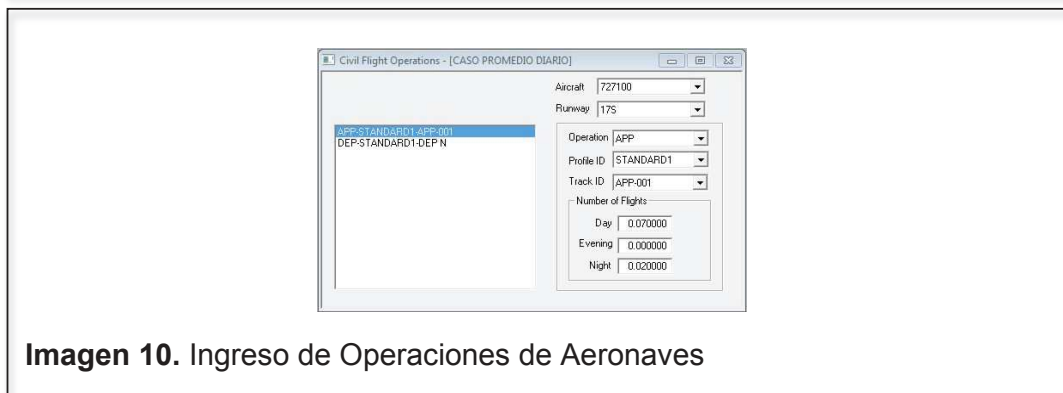
- Flota: Aquí se clasificó y organizó la flota que opera actualmente en el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito con su asignación respectiva en INM (ANEXO 2).

- Salidas: Se clasificó por fechas, dentro de cada día están los vuelos Nacionales, Internacionales y Militares. Se tiene el *daily* de un mes entero de operaciones. (ANEXO 3) [15]
- Llegadas: Se clasificó por fechas, dentro de cada día están los vuelos Nacionales, Internacionales y Militares. Se tiene el *daily* de un mes entero de operaciones. (ANEXO 3) 15]
- Conteo: En este paso se clasificó por avión según la DGAC/OACI y según el INM, los movimientos mensuales en el día y en la noche de cada una de las aeronaves, se especificó la ruta y para tener una aproximación anual de los movimientos se multiplicó a la cantidad mensual por 12 meses. Posteriormente se divide el resultado anual obtenido para 365 días, para que de esta manera el programa pueda calcular el nivel  $L_{DN}$  (*Day – Night level*). Se dividieron las operaciones en dos cabeceras, la cabecera Norte (17) y la cabecera sur (35). El 75% de los despegues se realizan desde la cabecera sur (35) hacia la cabecera norte (17) y los aterrizajes se realizan por la cabecera sur (35). El otro 25% de operaciones se realizan en los despegues desde la cabecera Norte (17) hacia la cabecera sur (35) y los aterrizajes de realizan por la cabecera norte (17). Esto se tomó en consideración al momento de realizar el conteo. [15] [7]. También se realizó un cuadro del total de vuelos por avión y el porcentaje de vuelos que tienen con respecto al total de operaciones del aeropuerto de Quito. No se tomaron en cuenta las operaciones de lo helicópteros, ya que estos presentaban una incidencia menor al 1% de operaciones anuales y no existían más de 10 operaciones diarias. (ANEXO 3)
- Asignación: En este paso se realizó la asignación de las aeronaves según la DGAC/OACI a los aviones existentes en la base de datos del INM, para esto se investigaron los pesos de las aeronaves y los tipos de propulsión que usan y cuantos de estas turbinas o turbohélices tiene cada avión. Algunas de las aeronaves de la flota que opera actualmente en el aeropuerto de Quito no se encuentran en la base de datos del INM por lo cual se aproximó a otro modelo de aeronave similar (ANEXO 4).
- Ingreso de datos: Para ingresar los datos de aeronaves en el programa primero se ingresaron las aeronaves civiles y militares dentro del CASO PROMEDIO DIARIO de escenario AIMS. Se modeló el aeropuerto para posteriormente ingresar la cantidad de vuelos que realizan cada una de las aeronaves en el día y en la noche tanto en su despegue como en su aterrizaje respectivamente.

A continuación imágenes de las ventanas donde se ingresa la flota de aeronaves y las operaciones de las mismas:



**Imagen 9.** Ingreso de Flota de Aeronaves



**Imagen 10.** Ingreso de Operaciones de Aeronaves

#### 4.2.1.1. Parámetros a modelar en INM 7.0

Luego de haber ingresado toda la información especificada anteriormente (ANEXOS 2, 3, 4.) se procede a realizar los procesos para obtener el mapa de ruido final, para lo cual se configura los parámetros que se quiere plasmar en el mapa (*Output setup*), se define contornos y límites en la sección (*Grid setup*), y finalmente se corre el modelo.

Se modelará en INM los siguientes parámetros:

- $L_{DN}$ : Nivel Promedio Día – Noche

#### 4.2.1.2. Resultados del modelamiento en INM 7.0

Finalmente se obtiene el mapa de contornos de ruido en INM del cual se puede obtener los siguientes resultados:

- Se obtienen niveles desde los 65dB hasta los 90dB con intervalos de 5dB y colores correspondientes (según normativa):
  - **60 – 65 dB CINABRIO**
  - **65 – 70 dB CARMÍN**
  - **70 – 75 dB LILA**
  - **75 – 80 dB AZUL**
  - **80 – 85 dB AZUL OSCURO**
  - **85 - 90 dB VERDE CLARO**
  
- El área que cubren los contornos de ruido dados en kilómetros cuadrados son los siguientes:

Nivel en [dB(A)]	Área en km <sup>2</sup>
60.0 - 65.0	19,279
65.0 - 70.0	6,997
70.0 - 75.0	2,488
75.0 - 80.0	1,050
80.0 - 85.0	0,449
85.0 - 90.0	0,154

**Tabla 1.** Área de contornos

El área de influencia cubre un total de 30.42km<sup>2</sup>. Se puede dividir a las zonas de la siguiente manera:

- Zona de influencia Alta:

Nivel en [dB(A)]	Área en km <sup>2</sup>
80.0 - 85.0	0,449
85.0 - 90.0	0,154

**Tabla 2.** Área de contornos de zona de influencia alta

Se considera zona de influencia alta aquella cuyos niveles son mayores a 80.0 dB(A).

- Zona de influencia Media:

Nivel en [dB(A)]	Área en km <sup>2</sup>
70.0 - 75.0	2,488
75.0 - 80.0	1,050

**Tabla 3.** Área de contornos de zona de influencia media

Se considera zona de influencia media aquella cuyos niveles se encuentran entre 70.0 – 80.0 dB(A).

- Zona de influencia Baja:

Nivel en [dB(A)]	Área en km <sup>2</sup>
60.0 - 65.0	19,279
65.0 - 70.0	6,997

**Tabla 4.** Área de contornos de zona de influencia baja

Se considera zona de influencia baja aquella cuyos niveles se encuentran entre 60.0 - 70.0 dB(A).

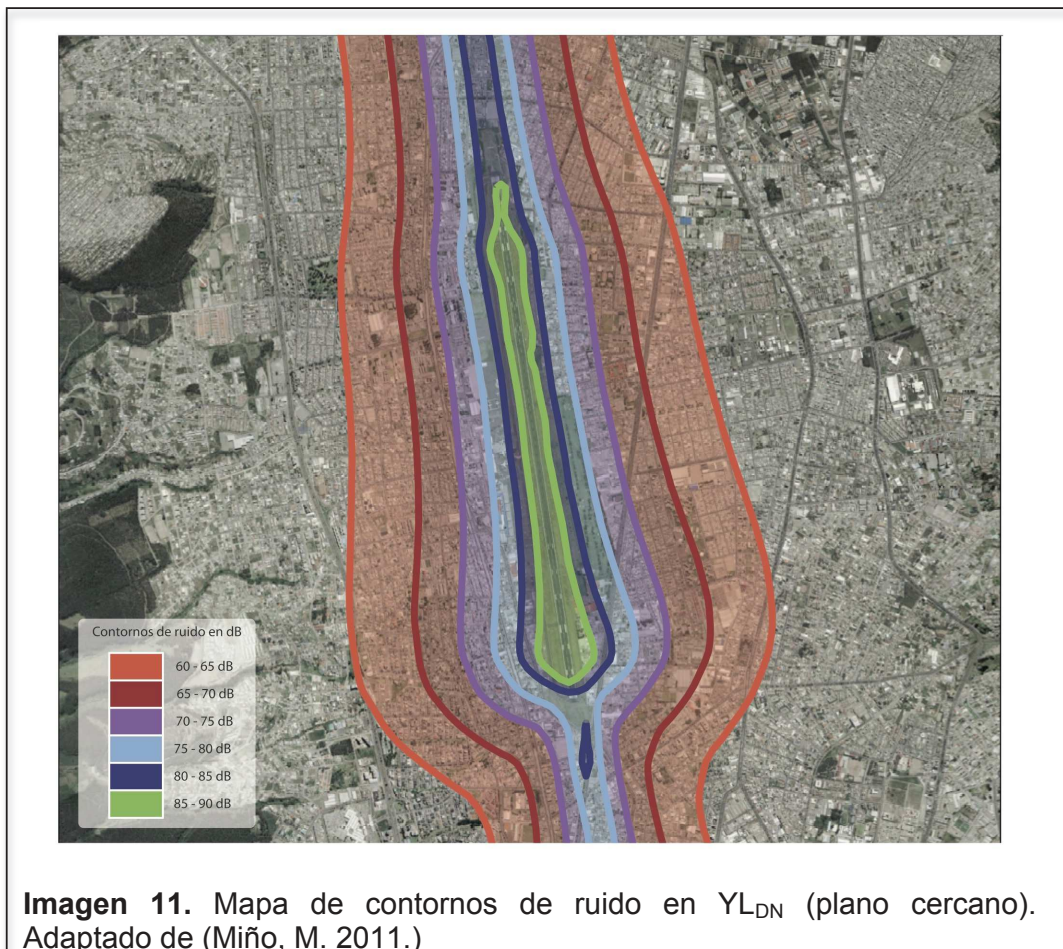
Los criterios de valoración han sido basados en la escala que presenta el TULSMA, Libro VI, Anexo 9.

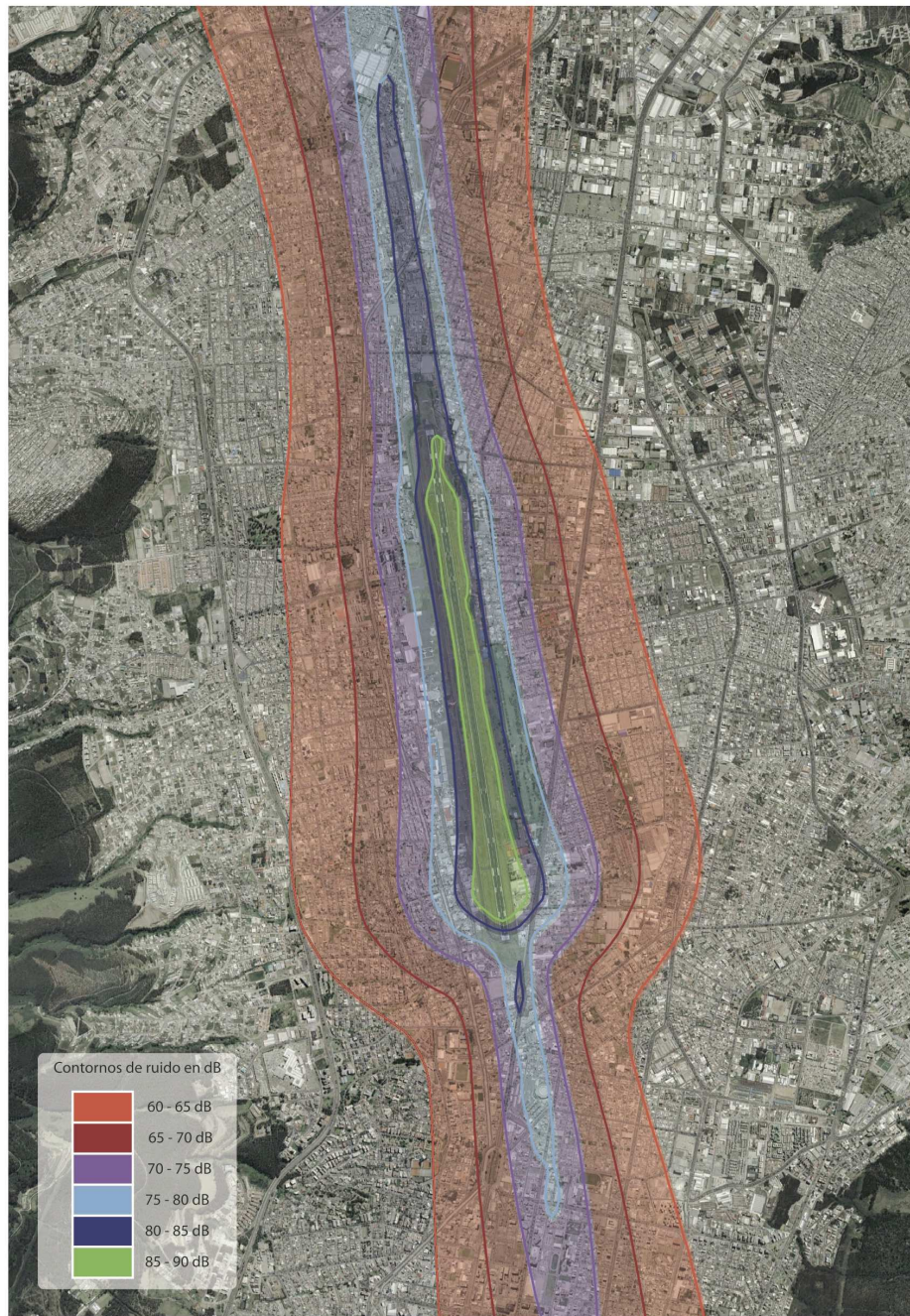
#### 4.2.1.3. Mapa de ruido obtenido del modelamiento

Del modelamiento realizado en INM se han acoplado los contornos al mapa de la ciudad de Quito para así apreciar de mejor manera las zonas afectadas por los contornos de nivel.

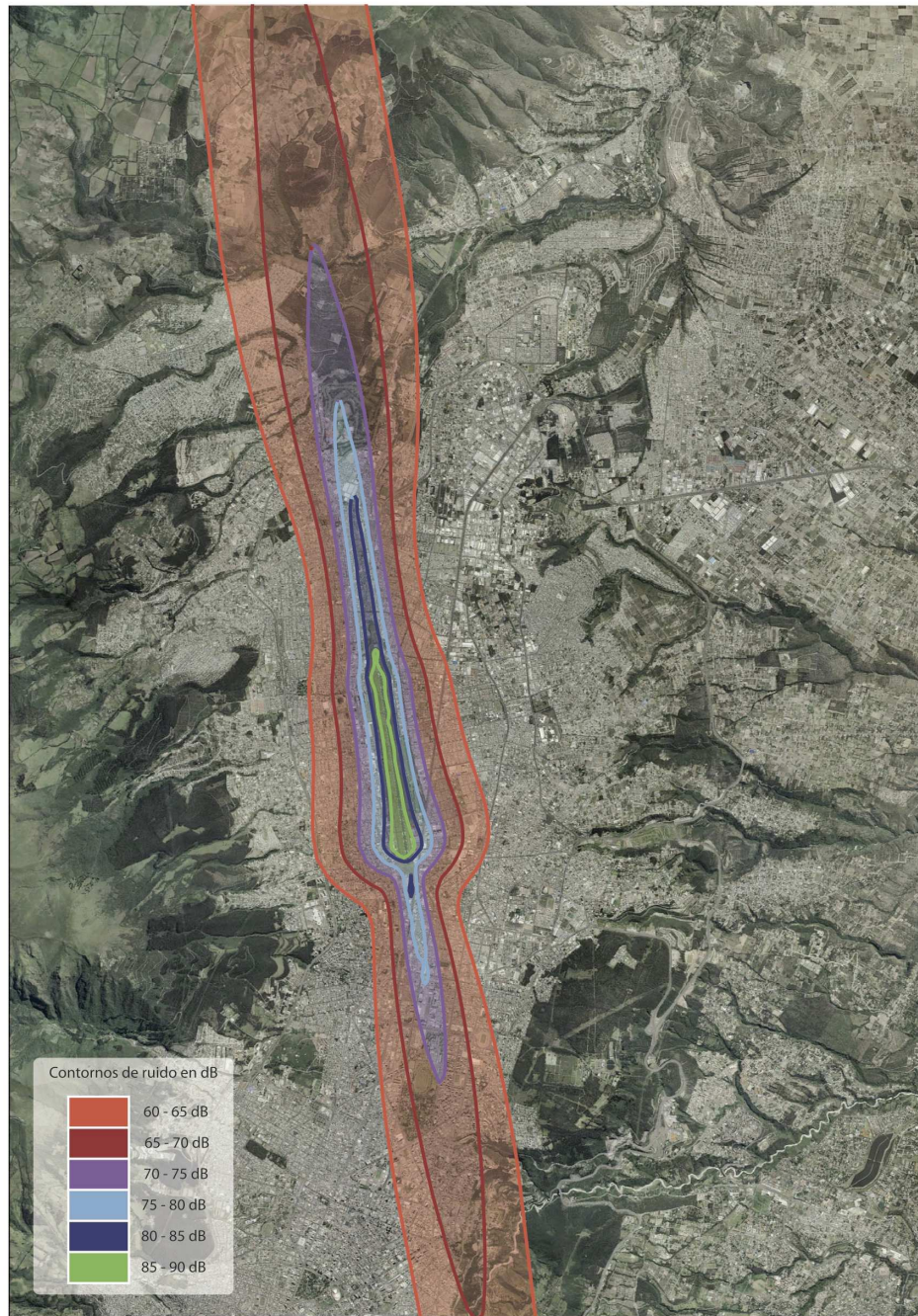
Se han obtenido 3 mapas de ruido, uno de un plano cercano, otro de plano mediano y otro de plano lejano.

Más adelante se hará un análisis extensivo de las zonas de influencia.





**Imagen 12.** Mapa de contornos de ruido en  $Y_{L_{DN}}$  (plano medio). Adaptado de (Miño, M. 2011.)



**Imagen 13.** Mapa de contornos de ruido en  $Y_{L_{DN}}$  (plano lejano). Adaptado de (Miño, M. 2011.)



### 4.3. Monitoreo de Ruido

Para poder analizar la validez del modelo, es necesario realizar una medición que constate los resultados obtenidos del *software* de predicción de ruido INM.

#### 4.3.1. Punto de medición

Se ha tomado como punto de monitoreo a la estación fija de monitoreo de ruido ubicada en las instalaciones de la Secretaría de Ambiente del MDMQ. Dicha estación se compone de un analizador *Deltaohm* HD2110, Tipo 1. El monitoreo realizado por esta estación es continuo y permanente, obteniendo valores de  $LeqA$ ,  $L_{max}$ ,  $L_{min}$ ,  $L_{10}$  y  $L_{90}$  para cada hora de medición.

Nota: Debido a que el tiempo para realizar el trabajo de titulación es relativamente corto para poder realizar la medición en al menos 10 puntos diferentes alrededor del aeropuerto, solo se ha tomado 1 punto de monitoreo de ruido, ubicado en las instalaciones de la Secretaría de Ambiente del MDMQ. No se pudo realizar mediciones en otros puntos también por falta de disponibilidad de una estación móvil de medición, la cual requería de tomar mediciones de al menos 1 semana en cada punto, por lo tanto, se tomó tan solo a este punto el cual se ubica en la zona de incidencia baja de ruido causado por el AIMS.

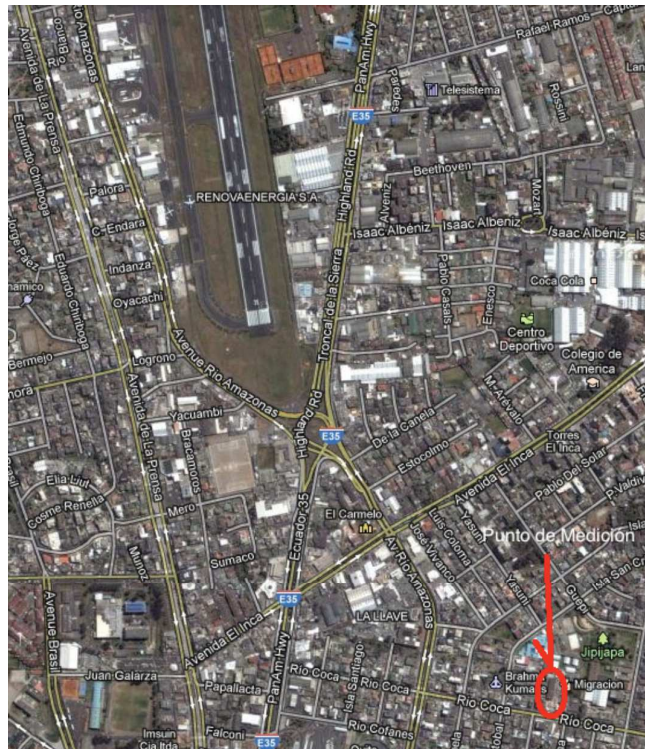


Imagen 14. Punto de Medición. Adaptado de <http://maps.google.es/>



Imagen 15. Estación Fija de Medición. Adaptado de (Chávez, M. 2011.)

#### 4.3.2. Parámetros a considerar

Al igual que en el modelo INM, de los resultados del monitoreo continuo, se obtuvo el Nivel Promedio Día – Noche ( $L_{DN}$ ). Se procedió a comparar los resultados obtenidos en el modelo con los datos de 15 días de medición del mes de noviembre de 2011. Se obtuvo un valor equivalente entre estos días para posteriormente aproximarlos a un año.

#### 4.3.3. Resultados finales del monitoreo de ruido

DÍA	FECHA	LDN
MIÉRCOLES	16-nov-11	71,1
JUEVES	17-nov-11	69,6
VIERNES	18-nov-11	71,3
SÁBADO	19-nov-11	71,7
DOMINGO	20-nov-11	68,8
LUNES	21-nov-11	70,0
MARTES	22-nov-11	69,6
MIÉRCOLES	23-nov-11	69,7
JUEVES	24-nov-11	68,9
VIERNES	25-nov-11	64,1
SÁBADO	26-nov-11	68,6
DOMINGO	27-nov-11	66,3
LUNES	28-nov-11	67,1
MARTES	29-nov-11	68,7
MIÉRCOLES	30-nov-11	68,9

**Tabla 5.** Resultados de  $L_{DN}$  por día, por un período de 15 días del mes de noviembre del 2011. Adaptado de (Chávez, M. 2011.)

Se obtiene por un cálculo de promedio logarítmico según la ecuación (12), el siguiente resultado:

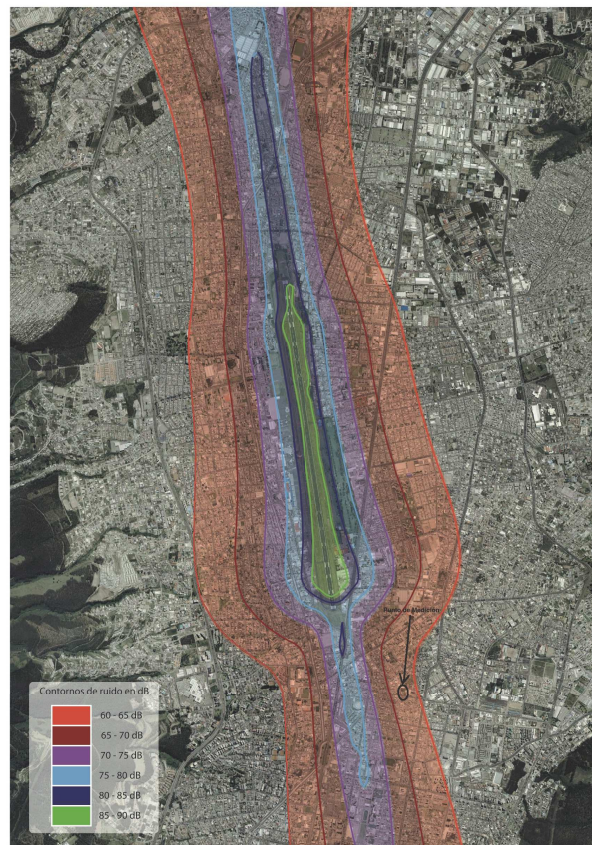
$Y_{L_{DN}} = 69,5$  dBA. Según este resultado, el punto de medición debería estar situado en el contorno 65 – 70 dB y sería una zona de influencia de ruido baja. En el capítulo siguiente se validará el modelo con los resultados obtenidos.

## 5. CAPÍTULO V: Validación de la evaluación por modelamiento acústico del impacto de ruido de tráfico aéreo

### 5.1. Comparación de los resultados obtenidos

#### 5.1.1. Comparación del $Y_{L_{DN}}$ obtenidos en ambos estudios, similitudes y diferencias

De acuerdo a los resultados del modelamiento realizado bajo el INM, el punto de medición se ubica entre los contornos de  $Y_{L_{DN}}$  60 y 65 dB. Sin embargo en el punto de medición se obtiene  $Y_{L_{DN}} = 69,5$  dB. Esto se debe a que prácticamente en todos los puntos que se puedan monitorear siempre va a existir ruido de otras fuentes tales como automóviles, alarmas y actividades en general. Estas fuentes junto con las actividades aeroportuarias aportan al nivel de ruido ambiental total .



**Imagen 16.** Contornos y punto de Medición Adaptado de (Miño, M. 2011.)

A continuación se analizará la contribución del ruido del aeropuerto y del ruido circunstancial y de tráfico del sector en donde se encuentra la estación fija de medición por medio de la deducción de la fórmula de ecuación de ruido total (14):

$$R_T = 10 \cdot \log (10^{R_A/10} + 10^{R_t/10})$$

Donde:

$R_T$ : Ruido total

$R_A$ : Ruido de Aeronaves

$R_t$ : Ruido de tráfico

De los 69.5 dB que se obtienen de los cálculos según los resultados arrojados por la estación de monitoreo de ruido, aproximadamente 63 dB son contribución del Aeropuerto según los resultados del modelamiento.

Utilizando la ecuación:

$$R_t = 10 \log (10^{R_T/10} - 10^{R_A/10})$$

**Fórmula 18.** Ecuación de ruido de tráfico rodado y ruido circunstancial

$$R_t = 68.39 \text{ dB}$$

Por lo tanto el ruido circunstancial y de tráfico rodado en el punto de medición aporta con 68.39 dB(A) y el ruido aeronáutico con 63 dB(A). La suma de ambos niveles da como resultado 69.5 dB(A) que es ruido total medido por la estación fija.

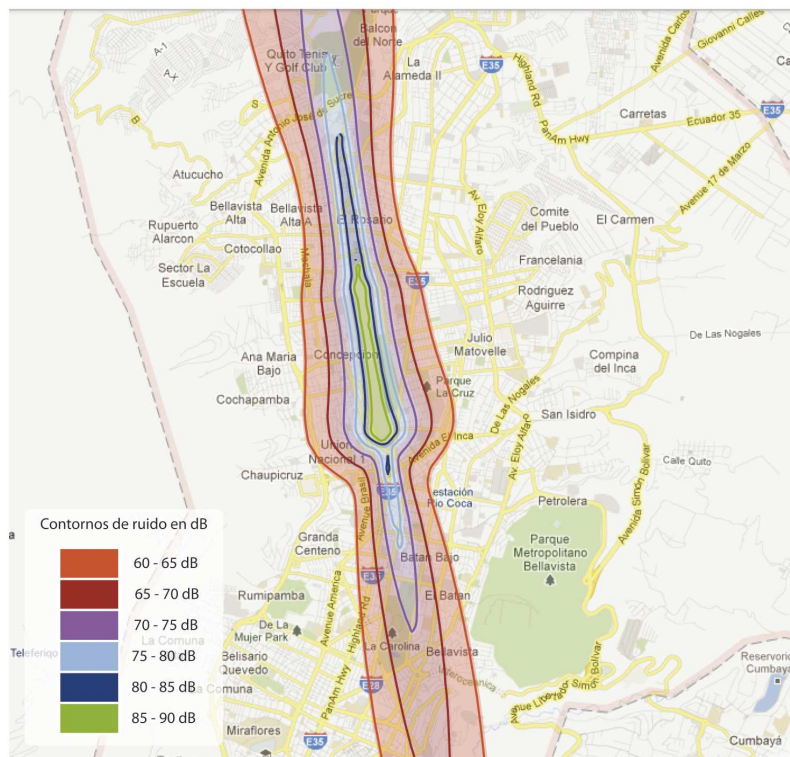
### 5.1.2. Cumplimiento de la norma técnica establecida TULSMA, LIBRO VI, ANEXO 9

A lo que se tiene que regir un estudio de ruido de aeronaves es básicamente a la planificación territorial de una ciudad con un aeropuerto dentro de ella.

En el anexo 1 de la presente tesis se encuentra el anexo 9 del TULSMA en donde se obtiene una tabla la cual establece los Niveles sonoros promedio día – noche anual que definen compatibilidad de uso de suelo.

Claramente en el caso del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito, no se ha aplicó esta normativa por ser relativamente nueva desde su publicación oficial. Es notorio que la ciudad ha crecido sin criterios de compatibilidad de uso de suelo en función a los niveles de ruido generados. Se observan en las cercanías del aeropuerto infraestructuras como colegios, escuelas, lugares residenciales, parques, hospitales, ancianatos, iglesias, universidades, etc.

A continuación se muestra un mapa de sectores afectados por el ruido en relación a los contornos de ruido.



**Imagen 17.** Mapa de barrios afectados Adaptado de (Miño, M. 2011.)

En el mapa se pueden apreciar los barrios afectados por el ruido. A continuación se nombrará aquellos barrios o parroquias y avenidas principales que se encuentran en las distintas zonas de influencia:

- Zona de influencia Alta:

Barrios El Rosario, La concepción. Además en la cabecera sur parte de la avenida Amazonas se ve afectada por el nivel alto de ruido en esta zona.

- Zona de influencia media:

Barrios El Rosario, La concepción, El Batán Bajo, Quito Tenis y Golf Club, parte del parque de la Carolina. La avenida de la Prensa, Amazonas y Real Audiencia se ven totalmente afectadas en esta zona como también parte de la 10 de Agosto.

- Zona de influencia baja:

Barrios Bellavista, El Batán, La Carolina, Unión Nacional 1, Bellavista Alta, Balcón del Norte, Quito Tenis y Golf Club, La Machala. Además las avenidas Amazonas, 10 de Agosto, Real audiencia, La Prensa, Brasil, El Inca, Rio Coca, Eloy Alfaro, 6 de Diciembre, América también se ven afectadas.

Así mismo, se pueden identificar aquellos lugares que por sus actividades son considerados sensibles, y que se encuentran dentro de las zonas de influencia de ruido aeronáutico.



**Imagen 18.** Mapa de establecimientos afectados. Adaptado de (Miño, M. 2011.)



De acuerdo a la Tabla 1 de Niveles sonoros promedio día – noche anual que define la compatibilidad de uso de suelo del Libro VI, Anexo 9 del TULSMA, no se ubicarán establecimientos o usos de suelo indebidos en las zonas de influencia del aeropuerto de Quito.

- Residencial:
  - Residencial, que no sean casas rodantes u otros alojamientos móviles:

Existen residencias, casas y edificios de vivienda alrededor del aeropuerto las cuales han sido construidas a libre albedrío ya que estas están en todas las zonas de influencia del aeropuerto, exceptuando el contorno de 85 – 90 dB.

Hay personas que viven en este sector y están expuestas al ruido desde 60 – 85 dB, lo cual, en niveles sonoros altos mayores a 65 dB, según la normativa puede causar graves problemas a la salud humana.

El TULSMA dice que en niveles de 65 – 75 dB(A), donde el gobierno municipal determine que el uso residencial o escolar debe ser permitido, se deberán incorporar medidas de atenuación sonora para lograr una reducción de niveles de ruido (RNR) desde el exterior hacia el interior de al menos 25 ó 30 dB. Estas medidas serán consideradas para aprobación individual, por caso específico. Las construcciones residenciales normales pueden llegar a proveer de RNR de 20 dB, así que la RNR adicional es de 5, 10 ó 15 dB sobre la construcción normal. Se asume operación de edificios con ventilación mecánica, acondicionamiento de aire y ventanas cerradas durante todo el año. Sin embargo los criterios de RNR no eliminarán los problemas de ruido en espacios abiertos. (Ver tabla 1, ANEXO 1).

- Uso Público:
  - Colegios (Detallados en el mapa con un óvalo de color rojo):

Hay varios colegios los cuales están expuestos al ruido del aeropuerto y no se acoplan a la normativa. Estos se encuentran en las zonas de influencia media y lejana del aeropuerto.

El TULSMA refleja que en niveles de 65 – 75 dB(A) donde el gobierno municipal determine que el uso residencial o escolar debe ser permitido, se deberán incorporar medidas de atenuación sonora para lograr una reducción de niveles de ruido (RNR) desde el exterior hacia el interior de al menos 25 ó 30 dB. Estas medidas serán consideradas para aprobación individual, por caso específico. Las construcciones residenciales normales pueden llegar a proveer de RNR de 20 dB, así que la RNR adicional es de 5, 10 ó 15 dB sobre la construcción normal. Se asume operación de edificios con ventilación mecánica, acondicionamiento de aire y ventanas cerradas durante todo el año. Sin embargo los criterios de RNR no eliminarán los problemas de ruido en espacios abiertos. (Ver tabla 1, ANEXO 1).

- Colegio Alvernia: 65 – 70 dB
  - Colegio Técnico General Maya: 70 – 75 dB
  - Colegio Aeronáutico: 65 – 70 dB
  - Universidad Indoamérica: 65 – 70 dB
- Hospitales y casas asistenciales (Detallados en el mapa con un óvalo de color azul):

Se puede ubicar 2 de estos establecimientos en las cercanías del Aeropuerto, en las zona de influencia media. Según la normativa, a este nivel se permite el uso de suelo y estructuras relacionadas generalmente compatibles, y que requieren la incorporación de medidas para lograr Reducción de Niveles de Ruido en 25 y 30 dB.

- Asilo de Ancianos Corazón de María: 70 – 75 dB
  - Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social: 70 – 75 dB
- Iglesias, auditorios y salones de concierto (Detallados en el mapa con un óvalo de color verde):

Hay una Iglesia en la zona de influencia media, la cual se expone a niveles altos de ruido. Según la normativa, a este nivel se permite el uso de suelo y estructuras relacionadas generalmente compatibles, y que

requieren la incorporación de medidas para lograr Reducción de Niveles de Ruido, el RNR deberá ser de 30 dB.

- Iglesia La Concepción: 70 – 75 dB

- Uso Comercial:

- Oficinas, negocios y profesionales (Detallados en el mapa con un óvalo de color naranja):

Las oficinas que más afectadas se ven por el ruido aeronáutico son las que se encuentran en el aeropuerto como por ejemplo las oficinas de la DGAC las cuales se ven expuestas a altos niveles de ruido ya que están en la zona de influencia media y en ciertos casos alta. A este nivel se permite el uso de suelo y estructuras relacionadas generalmente compatibles, y que requieren la incorporación de medidas para lograr Reducción de Niveles de Ruido, el RNR deberá ser de 30 dB.

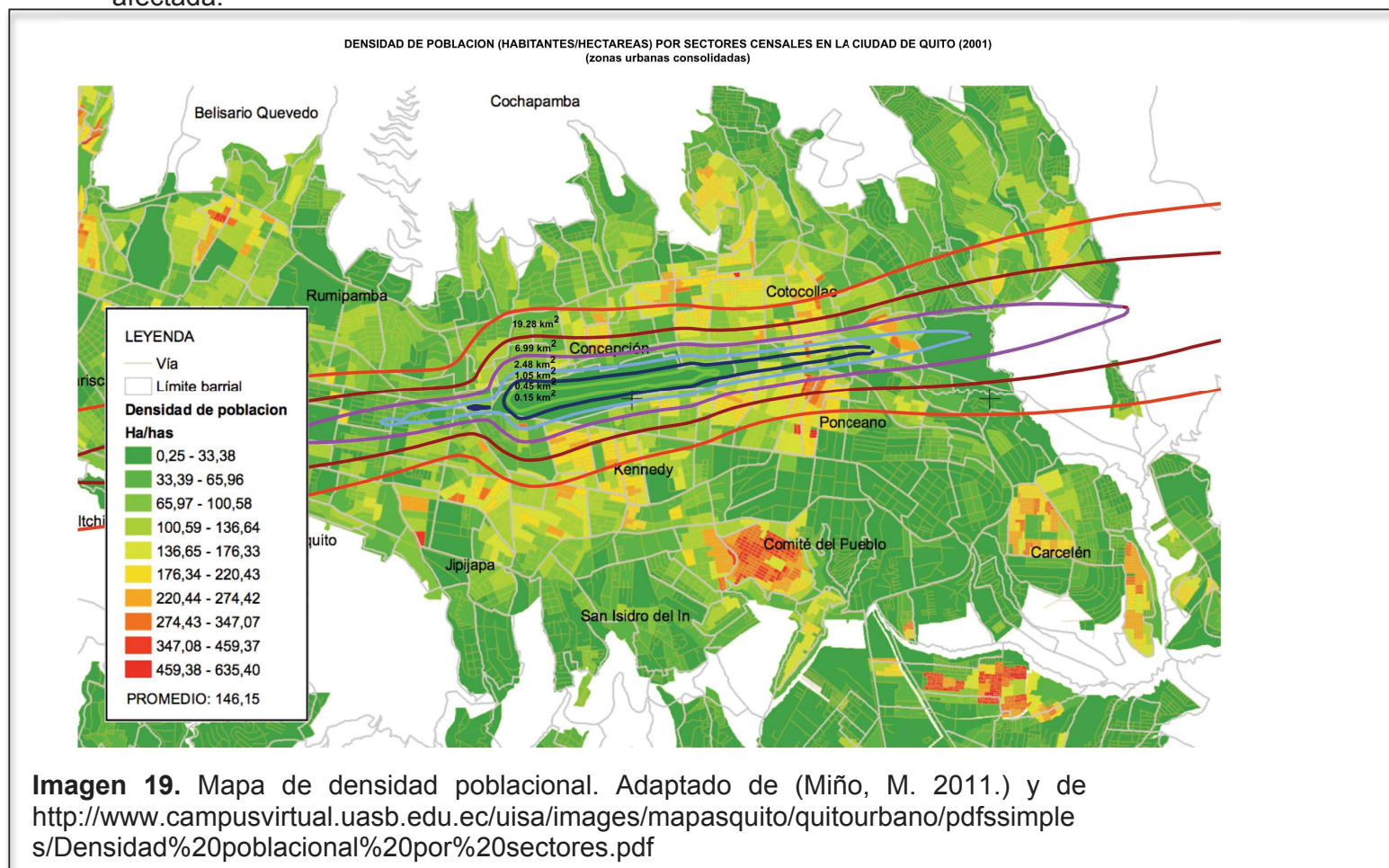
- Oficinas de la DGAC, Aerolíneas, Quiport, etc: 75 – 80 dB

- Comunicaciones (Detallados en el mapa con un óvalo de color fucsia):

Las radiodifusoras, canales de televisión y demás medios de comunicación, requieren de un establecimiento donde el ruido no sea elevado, ya que estos pueden arruinar su transmisión. En el caso de RTS, están expuestos a ruido al encontrarse en la zona de influencia media. A este nivel se permite el uso de suelo y estructuras relacionadas generalmente compatibles, y que requieren la incorporación de medidas para lograr Reducción de Niveles de Ruido, el RNR deberá ser de 25 dB.

- RTS: 70 – 75 dB

### 5.1.3. Mapa de densidad poblacional, estimación de la población afectada.



De acuerdo a la imagen 19, se obtiene el siguiente resultado:

Nivel en [dB(A)]	Área en km <sup>2</sup>	Área en hectáreas	Densidad Poblacional Promedio	Población
60.0 - 70.0	19,279	1927,9	146,15	281763
65.0 - 70.0	6,997	699,7	146,15	102261
70.0 - 75.0	2,488	248,8	146,15	36362
75.0 - 80.0	1,050	105	146,15	15346
80.0 - 85.0	0,449	44,9	146,15	6562
85.0 - 90.0	0,154	15,4	146,15	2251
	30,417	3041,7		444544

**Tabla 6.** Resultados de densidad poblacional

- En la zona de influencia alta se tiene una densidad poblacional promedio de 8813 habitantes por km<sup>2</sup>, cifra alta la cual se expone a un nivel muy significativo de ruido.
- En la zona de influencia media se tiene una densidad poblacional promedio de 51708 habitantes, cifra bastante alta la cual se expone a un nivel significativo de ruido.
- En la zona de influencia media se tiene una densidad poblacional promedio de 384024 habitantes, cifra muy alta la cual se expone a un nivel poco significativo de ruido.

## 6. CAPÍTULO VI: Análisis del costo del estudio

A continuación se realizará el análisis del costo del estudio realizado. [4]

<b>Costos</b>				
<b>Concepto</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Total</b>
<i>Transporte, viáticos</i>	5,00	por día	60	300
<i>Honorarios Ingeniero Acústico</i>	30,00	por hora, 3 meses de trabajo 8 horas diarias, 20 días al mes	480	14400
<i>Honorarios Técnico de Sonido</i>	1000,00	por 1 mes de mediciones en un punto	1	1000
<i>Sonómetro Tipo 1 Deltaohm HD2110</i>	40000,00		1	40000
<i>DGAC</i>	500,00	Información de operaciones, daily	1	500
<i>Software INM 7.0</i>	300,00		1	300
				56500

**Tabla 7.** Costo del estudio

## 7. CAPÍTULO VII: Conclusiones y Recomendaciones, Referencias, Anexos

---

### 7.1. Conclusiones

- Los niveles de ruido en la zona de influencia alta es muy significativa (80.0 – 90.0 dB(A)), afortunadamente no existen muchas residencias ni establecimientos en esta zona.
- Los niveles de ruido en la zona de incidencia mediana son significativos (70.0 – 80.0 dB(A)), en esta zona hay muchos establecimientos y viviendas las cuales no deberían estar situadas. Pero debido a que no hubo una planificación urbana, nunca se ha considerado la normativa que dicta la prohibición de la ubicación de estos establecimientos en estos sectores.
- La contaminación acústica causada por el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito es considerablemente alta según el Estudio Acústico Ambiental realizado en el presente trabajo. Esta es una de las razones del porque el aeropuerto se trasladará a Tababela en donde no existen residencias ni establecimientos cercanos, por lo tanto se podrá realizar una planificación territorial eficiente.
- El programa de predicción de contornos de ruido, INM, es un programa muy útil ya que tiene en su base de datos una gran variedad de aeronaves con todas sus características de aterrizaje, despegue, sobrevuelo, potencia, motores, creación y modificación de trayectorias y rutas, etc. Parámetros los cuales facilitan la realización del modelamiento en él, para lograr una predicción de ruido bastante exacta.
- Ya que los resultados se obtuvieron del mismo mes en el cual se basó el modelo de ruido, la validación en este punto de monitoreo resultó ser muy precisa y se pudo disociar el ruido de tráfico/circunstancial del ruido que aporta el aeropuerto con mayor exactitud.
- Es de suma importancia la comparación con la normativa nacional. El TULSMA nos da la pauta de las zonas de compatibilidad y de los usos de suelo permitidos, de esta manera se puede prevenir la construcción de establecimientos incompatibles que podrían ser afectados por el ruido generado por un aeropuerto.
- La evaluación del impacto de ruido de tráfico aéreo en las zonas de influencia del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito, indica que este genera una considerable contaminación ambiental. Según los resultados obtenidos, el aeropuerto es perjudicial para los habitantes de

la ciudad, especialmente para aquellos que viven y trabajan en las zonas de influencia evaluadas.

- Una vez definidas las zonas de influencia, se obtuvo que los contornos de ruido generan contaminación acústica sobre gran parte de la ciudad, afectando a 444544 habitantes a 30,41 km<sup>2</sup> a su alrededor, cifras bastante altas dentro de una ciudad como Quito.
- El EslA realizado obtiene resultados solo de las aeronaves, a excepción del punto de medición. Esto quiere decir, que en realidad existe un mayor nivel de ruido en las zonas de influencia del que se modela en INM, dando como resultado una mayor contaminación acústica alrededor del aeropuerto que la estimada en el *software*.



## 7.2. Recomendaciones

- Se recomienda la planificación territorial y definir usos de suelo previo a la construcción de aeropuertos. Si ya existe un aeropuerto en la ciudad, acatar la normativa.
- Se debería hacer un estudio del impacto ambiental causado por el ruido de aeronaves antes de construir un aeropuerto para justamente predecir los Niveles de Presión Sonora causados por las operaciones de aviones y así poder planificar de mejor manera.
- Hay mucha gente que convive con el ruido aeronáutico, esto es realmente perjudicial para la salud humana e incluso hay personas que ya están sufriendo las consecuencias que el ruido a causado sobre la salud. Por esto, se recomienda realizar a las instituciones pertinentes realizar un EslA antes de llevar a cabo la construcción de aeropuertos, así como establecimientos o residencias cercanas al mismo.
- El INM tiene muchos descriptores y parámetros a calcular, sin embargo, en el caso local, es inútil calcular todos los descriptores porque el único parámetro que interesa es el  $Y_{LDN}$ .
- La precisión en el levantamiento de información a ingresar en INM es muy importante ya que mientras más precisos sean los datos ingresados, los resultados serán más exactos y aproximados a la realidad. Igualmente las mediciones de distancias, coordenadas y demás datos tienen que ser muy certeras.
- Es recomendable considerar que el ruido puede afectar tanto como otros tipos de contaminación. Es por esto que en Ecuador ya se ha pensado en esto y por consiguiente el aeropuerto ya no va a funcionar dentro de la ciudad de Quito. Sin embargo, el aeropuerto no se traslada solamente por esta razón, sino también por otros problemas que provoca un aeropuerto que convive a gran proximidad con una ciudad metropolitana.
- El control de ruido y el estudio de impacto ambiental por ruido es algo relativamente nuevo en el país, por lo tanto, no se tiene un ordenamiento territorial previo a la construcción de las ciudades de Ecuador. Hoy en día es muy importante tomar en cuenta al ruido como un factor en el diseño de construcciones las cuales podrían ser una fuente de contaminación acústica considerablemente alta.
- Para realizar un estudio de impacto ambiental de aeroportuario, se debe contar con un equipo de personas especialistas en el tema; los cuales tienen experiencia tanto teórica como práctica y no solo de ruido, modelamiento y mediciones; sino también en la operación de aeronaves y en como se maneja el aeropuerto.

### 7.3. Referencias

- [1] Acuña Cartes, Juan Gabriel. (2006). Recomendaciones Para la Evaluación del Impacto Acústico de Proyectos Aeroportuarios. Valdivia – Chile. Universidad Austral de Chile.
- [2] ANEXO 5. Mapa de Ruido del Aeropuerto de Zaragoza. (Mayo 1999). Plan General de Ordenación Urbana de Zaragoza. Zaragoza, España.
- [3] Bartí Domingo, Robert. (2011). Google books. Acústica Medioambiental vol. II. Recuperado el 23 de noviembre del 2011 de [http://books.google.com.ec/books?id=QXf7KodG25sC&pg=PA355&lpg=PA355&dq=Nivel+de+Ruido+Continuo+Percibido+Ponderado&source=bl&ots=riR8NI44Ak&sig=mnoC9JHE2RN53zksew6OYQNXSec&hl=es-419&ei=IWbMTq6oCsi68gOMrqHMDw&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=9&ved=0CE8Q6AEwCA#v=onepage&q=Nivel%20de%20Ruido%20Continuo%20Percibido%20Ponderado&f=false](http://books.google.com.ec/books?id=QXf7KodG25sC&pg=PA355&lpg=PA355&dq=Nivel+de+Ruido+Continuo+Percibido+Ponderado&source=bl&ots=riR8NI44Ak&sig=mnoC9JHE2RN53zksew6OYQNXSec&hl=es-419&ei=IWbMTq6oCsi68gOMrqHMDw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=9&ved=0CE8Q6AEwCA#v=onepage&q=Nivel%20de%20Ruido%20Continuo%20Percibido%20Ponderado&f=false)
- [4] Bravo, Luis Alberto. (2011). Asignatura de Proyectos de Acústica. Guías de clase power point. Estudio Económico.
- [5] Cataño, Miguel. (2005). Utilización de los Mapas de Ruido y Sanciones. Recuperado el 19 de mayo del 2011 de [http://www.articulo.org/articulo/33972/utilizacion\\_de\\_los\\_mapas\\_de\\_ruido\\_y\\_sanciones.html](http://www.articulo.org/articulo/33972/utilizacion_de_los_mapas_de_ruido_y_sanciones.html)
- [6] Daftlogic, Arcsin. Recuperado el 17 de abril del 2012 de <http://www.daftlogic.com/sandbox-google-maps-find-altitude.htm>
- [7] Eguiguren, Diego. Copiloto LAN Ecuador, LAN.
- [8] Federal Aviation Administration. (2010). INM 7.0 Technical Manual. Estados Unidos de Norte América.
- [9] Federal Aviation Administration. (2010). INM 7.0 User's Guide. Estados Unidos de Norte América.
- [10] Federico Miyara, Susana Cabanellas, Patricia Mosconi, Vivian Pasch, Marta Yanitelli, Juan Carlos Rall, Jorge Vázquez. (2000) Ruido de aeropuertos: Caracterización acústica de una aeronave a partir del ruido del sobrevuelo. Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario (UNR), Riobamba, Rosario, Argentina.
- [11] Garzón, Christiam MSc. (2011) Asignatura de Acústica Ambiental. Guías de clase semana 1. Introducción. Quito, Ecuador.
- [12] GeoHack. Wikipedia, Plantillas Coordinadas. Recuperado el 17 de mayo del 2011 de

[http://toolserver.org/~geohack/geohack.php?pagename=Aeropuerto\\_Internacional\\_Mariscal\\_Sucre&language=es&params=00\\_08\\_28\\_S\\_78\\_29\\_19\\_W\\_type:airport\\_region:EC](http://toolserver.org/~geohack/geohack.php?pagename=Aeropuerto_Internacional_Mariscal_Sucre&language=es&params=00_08_28_S_78_29_19_W_type:airport_region:EC)

- [13] Geosalud. Recuperado el 06 de septiembre del 2012 de <http://geosalud.com/neurologia/tinitus.htm>
- [14] Google Maps. Imágenes 2012. DigitalGlobe. GeoEye. U.S. Geological Survey. Datos de mapa ® 2012. Google. Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito. Recuperado el 5 de enero del 2012 de <http://maps.google.es/>
- [15] Ingeniero, Jorge Marcelo, Terán Alzamora. Jefe del departamento de Ingeniería de la Dirección General de Aviación Civil. Quito, Ecuador.
- [16] Ingeniero, Miguel Ángel, Chávez. (2011). Asignatura de control de ruido.
- [17] itouchmap. Mobile and desktop maps. Recuperado el 15 de abril del 2012 de <http://itouchmap.com/latlong.html>
- [18] Ministerio del ambiente del Ecuador. Recuperado el 08 de agosto del 2012 de <http://www.ambiente.gob.ec/sites/default/files/archivos/normativa/aeropuertos/anexo9.pdf>
- [19] Miño Berrazueta, Andrés Fernando. (2011). Anteproyecto: Evaluación del Impacto de Ruido de Tráfico Aéreo en las zonas de influencia del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de la ciudad de Quito, Ecuador. Universidad de las Américas.
- [20] Miño, María Belén. Estudiante de diseño gráfico e industrial. UDLA.
- [21] Quiport S.A. Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito. Recuperado el 17 de mayo del 2011 de <http://www.quiport.com/www/frontEnd/main.php?idSeccion=3043>
- [22] Quiport S.A. Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito. Recuperado el 17 de mayo del 2011 de [www.quiport.com/www/frontEnd/main.php?idSeccion=3039&idPortal=1](http://www.quiport.com/www/frontEnd/main.php?idSeccion=3039&idPortal=1)
- [23] Universidad Andina Simón Bolívar. INEC. Recuperado el 20 de agosto del 2012 de <http://www.campusvirtual.uasb.edu.ec/uisa/images/mapasquito/quitourbano/pdfssimples/Densidad%20poblacional%20por%20sectores.pdf>

**ANEXOS**

## ANEXO 1: Normativas, Normativa Nacional, TULSMA, Libro VI, ANEXO 9

CDU:  
CIU:PROYECTO DE  
NORMANorma  
Ambiental  
EcuatorianaLIBRO VI  
ANEXO 9  
NORMA DE RUIDO DE AEROPUERTOSMAE 1  
2005-06**0 INTRODUCCIÓN**

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental, el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, y las disposiciones establecidas en el Convenio sobre Aviación Civil Internacional (OACI/ICAO) del cual Ecuador es signatario. Se somete a las disposiciones de estos instrumentos, y es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

- Los procedimientos para la evaluación de ruido de aeropuertos, incluyendo esto la elaboración de mapas de contorno de ruido.
- Los procedimientos para la elaboración de programas de compatibilidad de ruido.
- Los procedimientos de medición de niveles de ruido ambiente en recintos aeroportuarios (Nivel sonoro promedio día-noche – DNL).

**1 OBJETO**

La presente norma tiene como objetivo principal el preservar o conservar la salud de las personas y el bienestar del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, se establecen los lineamientos para la evaluación de la exposición al ruido en los alrededores y área de influencia directa de recintos aeroportuarios, mediante una metodología que permita determinar la exposición de individuos al ruido y así evaluar el impacto o molestias inducidos en una comunidad.

En la presente norma se establece el uso del Modelo Integrado de Ruido (INM por sus siglas en inglés), promovido por la US FAA, o similar, para la elaboración de mapas de exposición de ruido y predecir impactos por niveles de ruido. Se establecen además los requerimientos básicos que deberán reunir los programas de monitoreo de ruido aeroportuario.

Esta norma plantea la elaboración de programas de compatibilidad de ruido aeroportuario, cuyo propósito es promover un proceso de planificación en el que el operador aeroportuario pueda examinar y analizar el impacto por ruido inducido por la operación del aeropuerto. Bajo este esquema se establecen los criterios que definen aquellos usos de suelo compatibles y no compatibles con el ruido inducido por un aeropuerto. El programa de compatibilidad tiene por objetivo reducir o eliminar aquellas áreas que presenten usos de suelo no compatibles. El programa será sometido a aprobación de la municipalidad o de las municipalidades en cuya jurisdicción se encuentre el recinto aeroportuario. En el desarrollo de los programas de compatibilidad está prevista la coordinación con la Dirección General de Aviación Civil así como la cooperación en general con todos los grupos o partes de la sociedad civil que posean interés, con sus potestades y responsabilidades, para facilitar la creación de un acuerdo sobre un plan de reducción de ruido aeroportuario. Finalmente se establecen los requerimientos de vigilancia de la emisión de ruidos desde aeronaves, en concordancia con los acuerdos internacionales suscritos por el Ecuador.

## 2 DEFINICIONES

Para el propósito de esta norma se consideran las definiciones establecidas en el Reglamento a la Ley de Prevención y Control de la Contaminación y en su Norma de Límites Permisibles de Niveles de Ruido Ambiente Para Fuentes Fijas y Fuentes Móviles, y para Vibraciones, y las que a continuación se indican:

### 2.1 Aeronave

Toda máquina que puede sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire que no sean las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra.

### 2.2 Aeródromo o recinto aeroportuario

Área definida de tierra o de agua, que incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipos, destinada total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de aeronaves.

### 2.3 Aeropuerto

Cualquier aeródromo civil de servicio público que cuente con autoridades y servicios de control de tránsito aéreo, cuerpo de rescate y extinción de incendios y combustibles.

### 2.4 DGAC

Dirección General de Aviación Civil.

### 2.5 Mapa de contornos de ruido

Es una descripción geográfica a escala de un aeropuerto, sus contornos de ruido, y sus áreas circundantes, desarrollada de acuerdo a la sección 4.1.2 de esta norma. Incluirá la documentación que describa los pronósticos de operaciones de aeronaves en ese aeropuerto hasta un quinto año calendario contado desde la presentación del mapa, acompañado de la forma en que esas operaciones afectarán al mapa (incluyendo contornos de ruido y usos de suelo pronosticados).

### 2.6 Nivel de exposición sonora

Es el nivel en decibeles A, de la integral en base al tiempo de la presión sonora durante un periodo específico o evento, con referencia al cuadrado de la presión sonora de referencia estándar de 20 micropascales y una duración de un segundo.

### 2.7 Nivel sonoro promedio

Es el nivel en decibeles A de la presión sonora media efectiva (RMS) durante un período en específico, con referencia al cuadrado de la referencia estándar de la presión sonora de 20 micropascales.

### 2.8 Nivel sonoro promedio día-noche (DNL)

Es el nivel sonoro promedio de 24 horas en decibeles, de media noche a media noche, obtenido luego de adicionar 10 decibeles de penalización para los períodos entre 00h00 y 7h00 y 22h00 y 00h00, hora local.

**2.9 Nivel sonoro promedio día-noche anual (YDNL)**

Es el nivel sonoro promedio día-noche en decibeles A (dBA), promedio de 365 días. Para designarlo se utiliza la abreviatura YDNL.

**2.10 Operador Aeroportuario**

En esta norma se define a la entidad o corporación en capacidad de construir, operar y mantener instalaciones aeroportuarias, bajo expreso mandato o delegación según la ley. En esta norma también se lo denomina operador aeroportuario.

**2.11 Programa de compatibilidad de ruido de aeropuertos**

Es el programa sometido a consideración y aprobación de la autoridad municipal con las medidas propuestas o tomadas por parte del operador aeroportuario, que tiene por objetivo reducir los usos no-compatibles de ruido existentes y para prevenir la introducción de usos de suelo no-compatibles dentro del área.

**2.12 Reducción de niveles de ruido (RNR)**

Es la cantidad de reducción de niveles de ruido, lograda mediante la incorporación de medidas de atenuación de ruido en el diseño (entre los niveles exteriores e interiores) o con la construcción de la estructura.

**2.13 Restricción de procedimientos de vuelo**

Es cualquier requerimiento, limitación u otra acción que afecte la operación de aeronaves, en el aire o en tierra.

**2.14 US FAA**

Administración de la Aviación Federal de los Estados Unidos de América.

**2.15 Uso de suelo compatible**

Es el uso de suelo, definido en esta norma, que resulta compatible con el ruido ambiental exterior inducido por la operación de un aeropuerto, o que resulta compatible mediante la reducción de niveles sonoros para una determinada actividad en el interior de edificaciones.

**2.16 Uso de suelo no-compatibile**

Es el uso de suelo, definido en esta norma, que resulta como no-compatibile con el ruido ambiental exterior inducido por la operación de un aeropuerto.

**3 CLASIFICACIÓN**

Esta norma establece los procedimientos para evaluar niveles de ruido originados por tráfico aéreo en aeropuertos, los métodos y requisitos de medición de niveles de ruido, así como el desarrollo de programas de compatibilidad de uso de suelo para ruido de aeropuertos. La norma establece la presente clasificación:

- De las responsabilidades en el control de ruido aeroportuario.
- De la evaluación de los niveles de ruido originados por tráfico aéreo.
  - Consideraciones generales.

- Elaboración de mapas de exposición de ruido.
- Criterios de evaluación de usos de suelo compatibles y no-compatibles.
- Del programa de compatibilidad de ruido de aeropuertos.
  - Programa de compatibilidad de ruido
  - Elaboración de programas de compatibilidad de ruido.
  - Evaluación y determinación de programas de compatibilidad de ruido.
- Del monitoreo de niveles de ruido en aeropuertos y alrededores.
  - De las unidades de medición
  - De los equipos y procedimientos de medición.
  - De la frecuencia de monitoreo y el reporte a la autoridad

## 4 REQUISITOS

### 4.1 De las responsabilidades en el control de ruido aeroportuario.

4.1.1 La Dirección General de Aviación Civil es la entidad responsable de verificar el cumplimiento de los niveles de emisión de ruido de aeronaves. En la verificación de cumplimiento se utilizarán los procedimientos establecidos en el Volumen I del Anexo 16 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional (OACI) y sus posteriores actualizaciones. En el caso de instalaciones aeroportuarias existentes, y en que se determinen usos de suelo actuales no compatibles, la DGAC deberá verificar el cumplimiento proveer de las medidas de reducción de ruido necesarias en aeronaves y/o procedimientos de vuelo, según los niveles de reducción requeridos por esta norma.

4.1.2 Los gobiernos municipales, como entidades de planificación del uso del suelo en sus jurisdicciones, verificarán la ejecución de los programas de compatibilidad de ruido aeroportuario con los diferentes usos de suelo que sean determinados como no compatibles. Esto será coordinado con el operador aeroportuario y la DGAC. En la aplicación de este procedimiento, las municipalidades otorgarán prioridad a aquellos usos de suelo existentes, y que sean sensibles al ruido en períodos de descanso, caso de los usos de suelo hospitalario y asistencial.

4.1.3 El operador aeroportuario desarrollará la evaluación del impacto por ruido originado en las operaciones de tráfico aéreo, acorde con el procedimiento descrito en la siguiente sección 4.2. Los resultados de la evaluación de impacto por ruido aeroportuario incluirán la identificación de usos de suelo no compatibles con el nivel de ruido aeroportuario evaluado, y en este caso, se presentará el programa de compatibilidad de ruido, destinado a reducir los usos no compatibles. Este programa será remitido a las municipalidades respectivas y a la DGAC para su ejecución.

### 4.2 De la evaluación de los niveles de ruido originados por el tráfico aéreo.

#### 4.2.1 Consideraciones Generales

4.2.1.1 La exposición comunitaria al ruido producido por la operación de aeropuertos deberá ser evaluada en términos del nivel sonoro día-noche promedio anual (YDNL), calculado de acuerdo al procedimiento especificado en la sección 4.2.2 de esta norma. Para propósitos de evaluación de cumplimiento, todo uso de suelo es considerado compatible siempre que los niveles de ruido promedio anual día-noche YDNL se encuentren por debajo de un valor de 65 dBA. Para otras situaciones en que se esperan niveles de ruido YDNL mayores a 65 dBA, se aplicarán los criterios de cumplimiento expuestos en la Tabla 1 de esta norma, en función del uso del suelo.



4.2.1.2 Esta norma aplica a aeropuertos o pistas de aterrizaje, en que operen aeronaves con envergadura (distancia entre puntas de ala) mayor a 24,1 metros (79 pies) y con velocidad de aterrizaje mayor a 146,3 km/h (166 nudos), y en que las operaciones pronosticadas en un año excedan 90 000 operaciones de aviones a hélice (247 operaciones promedio diarias) ó 700 operaciones de aviones a reacción (2 operaciones promedio diarias). En el caso de operaciones de helicópteros, se requerirá la aplicación de esta norma si el aeropuerto o helipuerto tiene más de 10 operaciones promedio diarias.

4.2.1.3 Los operadores aeroportuarios tendrán un plazo de tres (3) años, contados a partir de la entrada en vigencia de esta norma, para que efectúen la respectiva evaluación inicial de niveles de ruido originados de las operaciones aeroportuarias bajo su responsabilidad. Luego de ser sometidos a consideración y aprobación por parte de la Entidad Ambiental de Control de los resultados de la evaluación inicial de niveles de ruido, entonces se establecerá una frecuencia de realización de posteriores evaluaciones cada cinco (5) años.

4.2.1.4 Para proyectos de nuevos aeropuertos, es decir construidos después de la entrada en vigencia de esta norma, el responsable del proyecto deberá tomar en consideración, durante la etapa de planificación de la obra, las medidas necesarias de verificación de compatibilidades del ruido aeroportuario con los usos de suelos existentes y proyectados en su inmediata área de influencia. El estudio de impacto ambiental requerido por el proyecto incluirá la elaboración de un mapa de contorno de ruido, según el esquema descrito en la sección 4.2.2.

#### 4.2.2 Elaboración de Mapas de Exposición de Ruido

4.2.2.1 Cada operador aeroportuario deberá presentar a la Entidad Ambiental de Control los mapas de contornos de ruido actual, en los que se identificarán aquellos usos de suelo no-compatibles, y acompañados de la documentación descrita en los siguientes artículos:

4.2.2.1.1 Mapa de contornos de ruido, el cual estará basado en pronósticos de operaciones aeronáuticas en el aeropuerto hasta el quinto año calendario, tomando como fecha de inicio la de presentación de la evaluación, e incluirá los contornos de mapa para la situación actual al momento de desarrollarse el estudio. El pronóstico estará basado en asunciones razonables relacionadas con las operaciones de despegues y aterrizajes de aeronaves, hora del día en que se verifican las operaciones, frecuencia y tipo de aeronave, patrones de vuelo, incluyendo planes de desarrollo aeroportuario, cambios de uso de suelo y cambios demográficos.

4.2.2.1.2 El estudio incluirá un diagnóstico de la naturaleza y extensión en que las operaciones pronosticadas afectarán la compatibilidad y usos de suelo actuales. De ser el caso, el estudio propondrá recomendaciones o medidas para la reducción de ruido aeroportuario, medidas que serán consideradas en conjunto con la municipalidad o municipalidades bajo cuyas jurisdicciones se presenten situaciones de usos de suelo no compatibles.

4.1.2.2 Los mapas deberán incluir el siguiente contenido mínimo:

- a. ubicación de pistas
- b. rutas de vuelo
- c. contornos DNL 65, 70 y 75 dBA, resultantes de las operaciones del aeropuerto
- d. los límites físicos del aeropuerto y los usos de suelo no-compatibles, estos últimos que se encuentren dentro de los contornos DNL 65 dBA o mayor
- e. ubicación de edificios públicos sensibles al ruido, como colegios, hospitales y centros de atención médica, así como edificios patrimoniales o candidatos a ser patrimoniales
- f. ubicación de sitios de monitoreo de niveles de ruido de aeropuertos (de existir)
- g. estimación del número de personas residiendo dentro de los contornos DNL 65, 70 y 75
- h. escala y calidad apropiadas para identificar calles y geografía.

4.1.2.3 Para determinar la extensión del impacto por ruido alrededor de un aeropuerto se deben determinar los contornos YDNL o DNL. Se deben desarrollar contornos continuos de DNL para los niveles de 65, 70 y 75 dBA, adicionalmente se pueden elaborar otros contornos cuando sea apropiado. En las áreas en donde los valores de DNL sean mayores o iguales a 65 dBA el operador del aeropuerto deberá identificar los usos de suelo y determinar su compatibilidad de acuerdo a la Tabla 1.

4.1.2.4 El operador aeroportuario debe recopilar los datos de operación aeronáutica requeridos por la metodología establecida por la US FAA (14 CFR Parte 150) para desarrollar los mapas de contornos de exposición de ruido. Bajo esta categoría se incluyen los programas de computación Integrated Noise Model (INM) para aeropuertos, o Heliport Noise Model (HNM) para helipuertos.

4.1.2.5 La información requerida para el cálculo de contornos de exposición de ruido se compone de lo siguiente: un mapa del aeropuerto y sus alrededores, a una escala detallada apropiada, indicando longitud de la pista y otras características técnicas de la misma, límites del aeropuerto, y rutas de vuelo hasta 9 144 metros (30 000 pies) de cada cabecera de pista, niveles de actividad aeroportuaria y datos operacionales que indiquen, en una base diaria anual promedio, el número de operaciones por tipo de aeronave asociada a cada ruta de vuelo, por período desde 07h00 a 22h00 horas locales y por período desde 22h00 a 7h00 horas locales para aterrizajes y despegues, accidentes topográficos o restricciones de vuelo de la zona que evitan el uso de rutas de vuelo alternativas, temperatura y elevación del aeropuerto.

4.1.2.5 De estar previsto para el quinto año del período de evaluación algún cambio en la distribución de la flota de aeronaves que utilizan el aeropuerto, y que pudiera representar un incremento en los niveles de ruido aeroportuario, o también de estar previsto un incremento en la capacidad de tráfico aéreo en el aeropuerto, el operador podrá entonces utilizar el modelo de la US FAA, Area Equivalent Method (AEM). Este modelo calcula el incremento en el área del contorno DNL de 65 dBA a raíz del incremento de operaciones o de cambio de distribución de tipo de aeronaves. Si el modelo AEM determina que el área del contorno DNL 65 dBA se incrementa en más de un 17% respecto de la situación original, entonces el cambio podría provocar un nuevo uso de suelo no-compatible significativo y se requerirá entonces de la realización del mapa de contornos de ruido mediante el modelo INM.

4.1.2.6 Para propósitos de evaluación del ruido aeroportuario, un cambio en la operación del aeropuerto crea un nuevo uso no-compatible significativo si dicho cambio resulta en un incremento en el valor de YDNL de 1,5 dBA o mayor para un área que anteriormente era compatible, o en un área que había sido previamente determinada como no-compatible pero que con el cambio o modificación de la capacidad aeroportuaria resulte en un incremento significativo de dicha área.

#### 4.2.3 Criterios de evaluación de usos de suelo compatibles y no-compatibles

4.2.3.1 Para propósitos de esta norma técnica se deben identificar los usos de suelo compatibles o no-compatibles con los niveles de exposición en DNL en los alrededores de aeropuertos, de acuerdo a la Tabla 1. Esta tabla define diferentes usos de suelo a los presentados en el Anexo 5, Límites Permisibles de Niveles de Ruido Ambiente para Fuentes Fijas y Fuentes Móviles, y para Vibraciones, del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación. Los usos de suelo aquí definidos son independientes de aquellos establecidos en la norma ambiental citada así como en cualquier otra normativa nacional o sectorial u ordenanza municipal en vigencia al momento de la publicación de la presente norma, o que se encuentre a futuro por establecerse. Si se identificara más de un uso de suelo actual o futuro, se deberá evaluar la compatibilidad en función del uso de suelo más afectado

MAE 1

**PROYECTO  
NORMA AMBIENTAL**

2005-06

negativamente por el ruido o el más sensible al ruido durante horario nocturno o por requerimientos de descanso.

**Tabla 1. Niveles sonoros promedio día-noche anual que definen compatibilidad de uso de suelo**

USO DE SUELO	NIVELES SONOROS PROMEDIOS DÍA-NOCHE (DNL) EN DECIBELES A					
	BAJO 65	65-70	70-75	75-80	80-85	MAYOR 85
<b>Residencial</b>						
Residencial, que no sean casas rodantes u otros alojamientos móviles	S	N <sup>(1)</sup>	N <sup>(1)</sup>	N	N	N
Parques de casas rodantes	S	N	N	N	N	N
Alojamientos móviles	S	N <sup>(1)</sup>	N <sup>(1)</sup>	N <sup>(1)</sup>	N	N
<b>Uso Público</b>						
Colegios	S	N <sup>(1)</sup>	N <sup>(1)</sup>	N	N	N
Hospitales y casas asistenciales	S	25	30	N	N	N
Iglesias, auditorios y salones de concierto	S	25	30	N	N	N
Servicios gubernamentales	S	S	25	30	N	N
Transporte	S	S	S <sup>(2)</sup>	S <sup>(3)</sup>	S <sup>(4)</sup>	S <sup>(4)</sup>
Estacionamientos	S	S	S <sup>(2)</sup>	S <sup>(3)</sup>	S <sup>(4)</sup>	N
<b>Uso Comercial</b>						
Oficinas, negocios y profesionales	S	S	25	30	N	N
Ventas globales y de materiales de construcción y de granja	S	S	Y <sup>(2)</sup>	S <sup>(3)</sup>	S <sup>(4)</sup>	N
Comercio en general	S	S	25	30	N	N
Instalaciones de empresas de distribución eléctrica y de alcantarillado y agua potable	S	S	S <sup>(2)</sup>	S <sup>(3)</sup>	S <sup>(4)</sup>	N
Comunicaciones	S	S	25	30	N	N
<b>Manufactura y Producción</b>						
Manufactura en general	S	S	S <sup>(2)</sup>	S <sup>(3)</sup>	S <sup>(4)</sup>	N
Equipos fotográficos y ópticos	S	S	25	30	N	N
Agricultura (excepto ganado) y silvicultura	S	S <sup>(6)</sup>	S <sup>(7)</sup>	S <sup>(8)</sup>	S <sup>(8)</sup>	S <sup>(8)</sup>
Granjas y crianza de ganado	S	S <sup>(6)</sup>	S <sup>(7)</sup>	N	N	N
Minería y pesca, extracción y producción de recursos	S	S	S	S	S	S

MAE 1

**PROYECTO  
NORMA AMBIENTAL**

2005-06

USO DE SUELO	NIVELES SONOROS PROMEDIOS DÍA-NOCHE (DNL) EN DECIBELES A					
	BAJO 65	65-70	70-75	75-80	80-85	MAYOR 85
<b>Recreacional</b>						
Coliseos cubiertos, con uso previsto de deportes sensibles al ruido	S	S <sup>(5)</sup>	S <sup>(5)</sup>	N	N	N
Conchas de música en exteriores, anfiteatros	S	N	N	N	N	N
Exhibiciones naturales y zoológicos	S	S	N	N	N	N
Sitios de diversión, parques y campos	S	S	S	N	N	N

Notas:

Las acotaciones incluidas en la tabla se encuentran explicadas en el siguiente artículo de esta norma.

S (Si) = Uso de suelo y estructuras relacionadas compatibles sin restricciones

N (No) = Uso de suelo y estructuras relacionadas no compatible y debería ser prohibido

20, 30, 35 = Uso de suelo y estructuras relacionadas generalmente compatibles, y que requieren la incorporación de medidas para lograr Reducción de Niveles de Ruido (RNR) de 25, 30 ó 35 dBA como parte del diseño o construcción de la estructura.

4.2.3.2 En la aplicación de la Tabla 1 se emplearán las siguientes acciones:

4.2.3.2.1 La principal medida de reducción de niveles de ruido, a fin de reducir usos de suelo no compatibles, consistirá en la regulación por parte de la Dirección General de Aviación Civil de los niveles de ruido generados por determinados tipos de aeronaves. De esta manera, la autoridad aeronáutica ejecutará las acciones competentes que permitan la modificación o reemplazo de determinadas aeronaves que no cumplan con los requisitos establecidos en los convenios internacionales de OACI.

4.2.3.2.2 De no alcanzarse cumplimiento con los valores DNL para los usos de suelo establecidos en la anterior Tabla 1, mediante la aplicación de medidas de control de ruido en aeronaves, entonces los diferentes usos de suelo deberán adecuar medidas de reducción de ruido, según los siguientes criterios, que se corresponden con las notas de la Tabla 1:

<sup>[1]</sup> En donde el gobierno municipal determine que el uso residencial o escolar debe ser permitido, se deberán incorporar medidas de atenuación sonora para lograr una reducción de niveles de ruido (RNR) desde el exterior hacia el interior de al menos 25 ó 30 dB. Estas medidas serán consideradas para aprobación individual, por caso específico. Las construcciones residenciales normales pueden llegar a proveer de RNR de 20 dB, así que la RNR adicional es de 5, 10 ó 15 dB sobre la construcción normal. Se asume operación de edificios con ventilación mecánica, acondicionamiento de aire y ventanas cerradas durante todo el año. Sin embargo los criterios de RNR no eliminarán los problemas del ruido en espacios abiertos.

<sup>[2]</sup> Medidas para alcanzar RNR de al menos 25 dB se deben incorporar en el diseño y construcción en las porciones de estos edificios en donde se atiende al público, en áreas de oficina y en áreas sensibles donde normalmente se requieran bajos niveles sonoros.

<sup>[3]</sup> Medidas para alcanzar RNR de al menos 30 dB se deben incorporar en el diseño y construcción en las porciones de estos edificios en donde se atiende al público, en áreas de oficina y en áreas sensibles donde normalmente se requieran bajos niveles sonoros.

<sup>[4]</sup> Medidas para alcanzar RNR de al menos 35 dB se deben incorporar en el diseño y construcción en las porciones de estos edificios en donde se atiende al público, en áreas de oficina y en áreas sensibles donde normalmente se requieran bajos niveles sonoros.

- [5] Uso de suelo compatible una vez que sistemas de insonorización sean instalados.
- [6] Edificios residenciales requieren una RNR de 25 dB.
- [7] Edificios residenciales requieren una RNR de 30 dB.
- [8] Edificios residenciales no son permitidos.

### 4.3 Del programa de compatibilidad de ruido de aeropuertos

#### 4.3.1. Programa de compatibilidad de ruido

4.3.1.1 El programa de compatibilidad de ruido de aeropuertos será la herramienta de gestión de un operador aeroportuario, a fin de reducir o eliminar las áreas de uso de suelos no compatibles, estas últimas a ser definidas en función de los resultados del mapa de contornos de ruido a ser elaborado por el operador y mediante el empleo conjunto de la Tabla 1 de la presente norma. Cualquier operador aeroportuario que haya presentado un mapa de contornos de ruido, según los requisitos establecidos en la sección 4.2 de esta norma, incluirá la presentación de un programa de compatibilidad de ruido ante la autoridad o autoridades municipales competentes, esto siempre que dicho mapa establezca áreas de uso de suelo no compatibles. El programa de compatibilidad de ruido de aeropuertos tendrá un período de cinco (5) años para su implementación.

4.3.1.2 Antes y durante el desarrollo del programa, y antes de su presentación a la autoridad ambiental competente, el operador deberá permitir la participación directa y activa de los usuarios aeronáuticos del aeropuerto, de entidades públicas en áreas cercanas al aeropuerto y del público en general.

4.3.1.3. Cada programa de compatibilidad de ruido de aeropuertos presentado a la autoridad municipal, deberá contar con al menos lo siguiente:

- a. Una copia del mapa de contornos de ruido y su documentación adjunta, de acuerdo a los requerimientos de esta norma técnica.
- b. Las medidas propuestas para la reducción o eliminación de aquellos usos de suelo no compatibles presentes y futuros, y una descripción de la contribución relativa de cada medida propuesta a la efectividad global del programa.
- c. Una descripción y análisis de las todas medidas consideradas, incluyendo aquellas que no se incorporaron en el programa, con una discusión explicando el porqué de la no inclusión de cada medida no incluida en el programa.
- d. Una descripción de la participación pública y las consultas con la o las municipalidades en las áreas adyacentes al aeropuerto, así como con agentes regionales de la DGAC y del Ministerio del Ambiente o con otros agentes o entidades gubernamentales responsables del uso del suelo mostrado en el mapa.
- e. El efecto real o anticipado del programa en la reducción de la exposición de individuos al ruido y en la reducción de aquellos usos de suelo no-compatible dentro del área cubierta por el mapa de contornos de ruido. Los efectos deben estar basados en asunciones relativas a tipo y frecuencia de operaciones aeronáuticas, número de operaciones nocturnas, patrones de vuelo, plano del aeropuerto incluyendo planes de expansión, cambios de uso de suelo planificados, y cambios demográficos dentro del contorno de ruido DNL 65 dBA.
- f. Una descripción de cómo las acciones futuras propuestas pueden cambiar cualquier plan o acciones de compatibilidad o control de ruido adoptados en programas previos por el operador del aeropuerto.
- g. Un resumen de los comentarios de cualquier audiencia pública sobre el programa y una copia de todo el material escrito presentado al operador bajo el artículo 4.3.1.2, acompañado de la respuesta del operador y el desenlace de esos comentarios y

materiales para demostrar que el programa es factible y razonablemente consistente con los objetivos de la planificación de la compatibilidad de ruido del aeropuerto.

- h. El período cubierto por el programa, el cronograma de implementación del programa, los responsables para la implementación de cada medida en el programa, y, para cada medida, la documentación que soporte la factibilidad de implementación, incluyendo cualquier acción requerida por parte del gobierno municipal, costos y fuentes de financiamiento, que demuestren que el programa es razonablemente consistente con las metas de la planificación de la compatibilidad bajo esta norma.
- i. Posibilidad de revisar el programa si se hace necesario debido a la revisión del mapa de contornos de ruido.

#### 4.3.2 Elaboración de programas de compatibilidad de ruido

4.3.2.1 El mapa de contornos de ruido y su documentación adjunta son requeridos en cada programa de compatibilidad de ruido para: identificar usos de suelo no-compatibles actuales y previstos, que necesiten el desarrollo de un programa, e identificar cambios en la compatibilidad del uso de suelo derivados de las medidas propuestas del programa.

4.3.2.2 Tomando como referencia el mapa de contornos de ruido y los usos de suelo no compatibles identificados en el mapa, el operador del aeropuerto debe evaluar varias alternativas de acciones de control de ruido y desarrollar un programa de compatibilidad de ruido que:

- a. Reduzca usos no-compatibles existentes y prevenga o reduzca la probabilidad de que se creen nuevos usos no-compatibles.
- b. No imponga fronteras al comercio internacional o extranjero.
- c. No sea discriminatorio injustamente.
- d. No disminuya la seguridad o afecte adversamente al uso seguro y eficiente del espacio aéreo.
- e. En la medida de lo posible, satisfaga las necesidades locales y del sistema nacional de transporte aéreo, considerando compromisos entre los beneficios económicos de la operación del aeropuerto y el impacto por niveles de ruido.
- f. Pueda ser implementado consistentemente con las potestades y obligaciones de la autoridad ambiental.

4.3.2.3 Las medidas de control de ruido deberán ser consideradas y presentadas de acuerdo a las siguientes categorías:

- a. Medidas de reducción de ruido para las cuales el operador del aeropuerto tiene adecuada autoridad de implementación,
- b. Medidas de reducción de ruido para las cuales la autoridad de implementación está representada por una o varias municipalidades o por la DGAC.

4.3.2.4 Al menos, el operador debe analizar y reportar el uso de las siguientes medidas de control y reducción de ruido, sujeto a la posibilidad de implementación en un aeropuerto en específico:

- a. Adquisición de tierras, incluyendo pero no limitándose a los derechos aéreos y servidumbres para asegurar que los usos de la propiedad para diferentes propósitos sean compatibles con las operaciones del aeropuerto.
- b. La construcción de barreras y aislamiento acústico, incluyendo la insonorización de edificios públicos.
- c. La implementación de un sistema de pistas u orientaciones de pista preferencial.
- d. El uso de procedimientos aprobados previamente en cuanto a seguridad pública por parte de la DGAC, y que puedan incluir la modificación de rutas durante el despegue

y/o aterrizaje, esto a fin de controlar la operación de aeronaves y reducir la exposición al ruido, en los alrededores del aeropuerto, por parte de una comunidad o en áreas específicas sensibles.

- e. La implementación de permisos o de restricciones específicas en el uso del aeropuerto por parte de algún tipo o clase de aeronaves, esto basado en las características de emisión de ruido de estas últimas. Las restricciones pueden incluir, pero no están limitadas a: negación del uso de aeropuertos a aeronaves que no cumplan con las normas de emisión de ruido en vigencia, el requerimiento de que las aeronaves usen procedimientos de reducción de ruido aprobados por la OACI, imposición de costos de aterrizaje basados en los niveles de emisión de ruido estimados, restricción parcial o completa de operación de aeronaves. En el caso de aeropuertos existentes, que presenten usos de suelo circundantes no compatibles con el ruido aeroportuario, las medidas descritas en este numeral deben ser las primeras en ser consideradas para mitigar los niveles de ruido.
- f. Otras acciones o combinaciones de acciones que puedan tener un control de ruido adecuado o de reducción del impacto en el público.
- g. Otras acciones recomendadas para su análisis por la autoridad municipal o por la DGAC para un aeropuerto en específico.

4.3.2.5 El programa debe identificar las entidades responsables de la implementación de las medidas seleccionadas. De requerirse la intervención de algunas municipalidades y la participación de la DGAC, entonces existirá un acuerdo oficial entre todas estas. Se incluirá el itinerario tentativo aprobado.

#### 4.3.3 Evaluación y determinación de efectos de programas de compatibilidad de ruido

4.3.3.1 El programa de compatibilidad de ruido de aeropuertos será remitido para su revisión y aprobación por parte de las autoridades municipales con jurisdicción dentro de las áreas que presenten usos de suelo no compatibles, determinados estos últimos mediante los respectivos mapas de contornos de ruido. Desde la recepción de un programa de compatibilidad de ruido, las municipales deberán llevar a cabo una revisión preliminar del programa.

4.3.3.2 Si, basado en la revisión preliminar, la municipalidad encuentra que el programa no cumple con los requisitos de esta norma, el programa no será aprobado y el operador del aeropuerto deberá reconsiderar el programa para que cumpla con esta norma.

4.3.3.3 La(s) municipalidad(es) hará(n) una evaluación de cada programa de compatibilidad de ruido y, basado en esa evaluación, se aprobará o desaprobará el programa. La evaluación incluye la consideración de las medidas propuestas para determinar si las mismas:

- a. Pueden crear una limitante indebida al comercio nacional o internacional (incluyendo discriminación injusta).
- b. Son razonablemente consistentes para lograr las metas de reducción de usos de suelo no-compatibles y previenen la introducción de incompatibilidades adicionales.
- c. Incluyen el uso de procedimientos de vuelo, nuevos o modificados, para el control de ruido a partir del control operacional de aeronaves, o si dichos procedimientos de vuelo puede afectar de alguna forma al normal tráfico aéreo. En este tema, el programa contará con las autorizaciones y/o disposiciones del caso emitidas por la DGAC en cuanto a la seguridad de las operaciones aéreas.

4.3.3.4 Según se considere necesario, la(s) municipalidad(es) podrá(n):

- a. Realizar consultas con el operador del aeropuerto o con otras personas que tengan información relevante para con la evaluación.

- b. Evaluar los objetivos del programa y las medidas propuestas, así como de algunas otras medidas alternativas, para conseguir los objetivos.
- c. Examinar el programa para desarrollar un rango de alternativas que permitan la implementación del mismo.
- d. Convenir una reunión con el operador del aeropuerto y otras personas envueltas en el desarrollo o implementación el programa con propósitos de encontrar todos los factores relevantes para la determinación de la aprobación o desaprobación del programa y de la discusión de cualquier requerimiento de modificar el programa.

4.3.3.5 La(s) municipalidad(es) podrá(n) emitir una determinación de aprobar o desaprobar un programa de compatibilidad de ruido aeroportuario o porciones individuales de este. No se puede asumir que la autoridad ambiental ha aprobado un programa o una porción de este a menos que exista constancia escrita explícita.

4.3.3.6 La(s) municipalidad(es) podrá(n) aprobar un programa bajo esta norma si:

- a. Se encuentra que las medidas del programa no crean una limitación indebida al comercio nacional o internacional (incluyendo discriminación injusta) y que sea razonablemente consistente con el objetivo de reducir los usos de suelo no-compatibles en los alrededores del aeropuerto y prevenir la introducción de usos de suelo no-compatibles adicionales.
- b. Incluye la capacidad de revisar el programa de compatibilidad cuando sea necesario efectuar revisiones al mapa de contornos de ruido.
- c. Los aspectos relativos al uso de procedimientos de vuelo para el control de ruido pueden ser cumplidos en el período cubierto por el programa sin que esto implique: reducir los niveles de seguridad aeronáutica; derogar el nivel requerido de seguridad aeronáutica y civil; o afectar adversamente el uso y manejo eficiente del espacio aéreo navegable y de sistemas de control de tráfico aéreo.

#### **4.4 Del monitoreo de niveles de ruido en aeropuertos y alrededores**

El monitoreo de niveles de ruido puede ser utilizado para adquirir y refinar datos, pero no es un requerimiento de esta norma. De ejecutarse acciones de monitoreo de niveles de ruido entonces se deberá cumplir con los requisitos expresados en esta norma.

##### 4.4.1 De las unidades de medición

4.4.1.1 El ruido de un aeropuerto y alrededores debe ser medido en niveles de presión sonora (NPS) en decibeles con ponderación A (dBA).

##### 4.4.2 De los equipos y procedimientos de medición

4.4.2.1 La medición de niveles de ruido se realizará utilizando equipos Tipo 1 con ponderación A, ajustado a respuesta lenta.

4.4.2.2 La medición y documentación de niveles de ruido deberá ser llevada a cabo con metodologías de medición descritas en la normativa ambiental en vigencia o aceptadas internacionalmente.

4.4.2.3 Se deberá reportar las mediciones en niveles de presión sonora máxima en decibeles A (dBA) y DNL, además de algún otro requerimiento de la legislación local.

4.4.2.4 Los sitios de monitoreo serán seleccionados razonablemente, la elección del número y ubicación de sitios deberá ser justificada. El número de sitios de monitoreo no podrá ser menor



al número de cabeceras de pista, y estos sitios estarán ubicados a una distancia adecuada de cada cabecera sobre el eje de la pista hacia el exterior del aeropuerto.

#### 4.4.3 De la frecuencia de monitoreo y el reporte a la autoridad

4.4.3.1 La medición de niveles sonoros será llevada a cabo de acuerdo a lo propuesto en el Plan de Manejo Ambiental del Aeropuerto. Si no se contare con dicho plan, entonces se definirán la frecuencia de monitoreo en acuerdo con la autoridad ambiental local.

4.4.3.2 El reporte de monitoreo de niveles de ruido será presentado cada vez que se lleven a cabo monitoreos puntuales de niveles de ruido. Si el monitoreo de niveles de ruido es continuo se presentará un reporte trimestral.

4.4.3.3 Para el reporte a la autoridad se deberá presentar como mínimo los siguientes parámetros: nivel de presión sonora equivalente diurno, nivel de presión equivalente nocturno, nivel día-noche DNL, y nivel de presión sonora máximo, todos expresados en decibeles en ponderación A.

MAE 1

**PROYECTO  
NORMA AMBIENTAL**

2005-06

**5 BASES PARA LA NORMA**

US CODE OF FEDERAL REGULATIONS. 14 CFR Part 150-Airport Compatibility Planning

US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION,  
2004. Order 1050.1E Subject: Environmental Impacts: Policies and Procedures, Appendix A.  
Analysis of Environmental Impact Categories

## ANEXO 2: Flota aérea actual

A continuación se detalla la flota utilizada en el estudio:

Flota			
OACI/DGAC	AERONAVE	INM 7.0	TIPO
A319	AIRBUS A319	A319-131	CIVIL
A320	AIRBUS A320	A320-211	CIVIL
A343	AIRBUS A-340-300	A330-343	CIVIL
A748	HAWKER SIDDELEY HS-748 Andover	HS-748A	CIVIL
ALH	HINDUSTAN ALH	777200	CIVIL
AT45	AEROSPATIALE ATR 42-500	U21	MILITAR
B190	BEECH 1900	C12	CIVIL
B350	BEECH SUPER KING AIR 350	C12	MILITAR
B721	BOEING 727-100 (C-22)	C12	CIVIL
B722	BOEING 727-200	727200	CIVIL
B732	BOEING 737-200	737500	CIVIL
B737	BOEING 737-700	737700	CIVIL
B738	BOEING 737-800	737800	CIVIL
B744	BOEING 747-400	747400	CIVIL
B752	BOEING 757-200	757PW	CIVIL
B762	BOEING 767-200	767CF6	CIVIL
B763	BOEING 767-300	767300	CIVIL
B772	BOEING 777-200	777200	CIVIL
B77W	BEECH SKIPPER 77	T34	MILITAR
BE20	BEECH SUPER KING AIR 200/ 1300	C12	MILITAR
BE200	BEECH 1900	C12	CIVIL
BE30	BEECH SUPER KING AIR 300/300LW	C12	MILITAR
BE40	BEECH BEECHJET 400	CNA750	CIVIL
BE90	BEECH 1900	C12	MILITAR
BE9T	BEECH F90 KING AIR	C12	MILITAR
C130	LOCKHEED C130 A/B/E/F/H HERCULES	C130AD	MILITAR
C17	MCDONNELL DOUGLAS C-17 Globemaster 3	C135B	MILITAR
C206	CESSNA STATIONAIR 6/ TURBO STATIONAIR	CNA206	CIVIL
C340	CESSNA 340	C12	MILITAR
C414	CESSNA CHANCELLOR 414/ ROCKET POWER	C12	MILITAR
C421	CESSNA GOLDEN EAGLE 421	C12	MILITAR

C550	CESSNA CITATION 2/-S2/Bravo	CNA750	CIVIL
C56X	CESSNA Citation Excel	CNA750	CIVIL
C650	CESSNA CITATION 3/6/7	CNA750	CIVIL
C680	CESSNA CITATION 680 SOVEREIGN	CNA750	CIVIL
C750	CESSNA CITATION 10	CNA750	CIVIL
CL64	CANADAIR CL600/601/604 CHALLENGER	CL600	CIVIL
CN35	AIRTECH (2) CN-235	C130AD	MILITAR
D328	DORNIER 328	CNA750	CIVIL
DC10	MCDONNELL DOUGLAS DC-10	MS11GE	CIVIL
DHC6	DE HAVILLAND DHC-6 TWIN OTTER	C12	MILITAR
E120	EMBRAER BRASILLE EMB-120	EMB120	CIVIL
E135	EMBRAER RJ ERJ-135	CNA750	CIVIL
E145	EMBRAER RJ ERJ-145	EMB145	CIVIL
E170	EMBRAER ERJ -170	737500	CIVIL
E190	EMBRAER ERJ -190	A320-232	CIVIL
E50P	BEECH BEECHJET 400	CNA750	CIVIL
F2TH	FALCON 2000	FAL20	CIVIL
FA50	FALCON 50	CNA750	CIVIL
G150	IAI Gulfstream 150	GIV	CIVIL
GLF2	GULFSTREAM GULFSTREAM 2	GII	CIVIL
GLF4	GULFSTREAM GULFSTREAM 4	GIV	CIVIL
H25B	HAWKER HS-125-700 / 800	CNA750	CIVIL
M18	PZL -MIELEC Dromader	CNA206	CIVIL
MD11	MD-11	MD11GE	CIVIL
MD11F	MD-11	MD11PW	CIVIL
PAY2	PIPER CHEYENNE 2	PA31	CIVIL
PAY3	PIPER CHEYENNE 3	C12	CIVIL
PRM1	BEECH Raytheon Premier I	CNA750	CIVIL
SBR1	SABERLINER 40/50/60/65	SABR80	CIVIL

[15]

## ANEXO 3: Cuadro de tráfico aéreo utilizado (Daily)

INM	Avión	Salidas		Llegadas		Total Vuelos	PORCENTAJE %
		Diario Promedio Día	Diario Promedio Noche	Diario Promedio Día	Diario Promedio Noche		
A319-131	A319	12,1	6,0	11,2	6,9	36,26	18,14%
A320-211	A320	16,2	11,2	16,0	12,4	55,82	27,93%
A330-343	A343	0,0	0,9	0,1	0,8	1,71	0,86%
HS-748A	A748	1,3	0,2	1,0	0,5	2,96	1,48%
777200	ALH	0,1	0,0	0,1	0,0	0,23	0,12%
U21	AT45	2,7	0,4	2,2	0,9	6,21	3,11%
C12	B190	0,1	0,0	0,1	0,0	0,23	0,12%
C12	B350	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,05%
727100	B721	0,1	0,1	0,1	0,0	0,30	0,15%
727200	B722	0,7	0,0	0,6	0,1	1,45	0,72%
737500	B732	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,03%
737700	B737	2,8	1,0	0,9	2,8	7,50	3,75%
737800	B738	0,2	0,0	0,2	0,0	0,39	0,20%
747400	B744	0,3	0,0	0,4	0,0	0,72	0,36%
757PW	B752	2,8	0,2	0,6	2,4	5,98	2,99%
767CF6	B762	1,0	0,4	0,4	0,2	1,94	0,97%
767300	B763	1,7	1,2	1,6	1,3	5,82	2,91%
777200	B772	0,5	0,1	0,6	0,0	1,18	0,59%
T34	B77W	0,0	0,4	0,4	0,0	0,79	0,39%
C12	BE200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,03	0,02%
C12	BE30	0,1	0,0	0,1	0,0	0,20	0,10%
CNA750	BE40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	0,05%
C12	BE90	0,1	0,0	0,1	0,0	0,23	0,12%
C12	BE9T	0,1	0,1	0,2	0,1	0,46	0,23%
C130AD	C130	0,9	0,2	0,3	0,8	2,24	1,12%
C135B	C17	0,1	0,0	0,1	0,0	0,20	0,10%
CNA206	C206	0,1	0,0	0,1	0,0	0,26	0,13%
C12	C340	0,4	0,0	0,3	0,1	0,85	0,43%
C12	C414	0,1	0,0	0,1	0,0	0,20	0,10%
C12	C421	0,1	0,1	0,1	0,1	0,46	0,23%
CNA750	C550	0,4	0,0	0,3	0,0	0,76	0,38%

CNA750	C56	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,03%
CNA750	C650	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,03%
CNA750	C680	0,1	0,0	0,1	0,0	0,13	0,07%
CNA750	C750	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,03%
CL600	CL64	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,03%
C130AD	CN35	1,3	0,1	1,1	0,3	2,70	1,35%
CNA750	D328	3,4	0,0	2,5	1,0	6,90	3,45%
MD11GE	DC10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,03%
C12	DHC6	0,2	0,1	0,2	0,1	0,66	0,33%
EMB120	E120	3,6	1,0	3,2	1,4	9,17	4,59%
CNA750	E135	0,5	0,0	0,3	0,2	0,99	0,49%
EMB145	E145	3,0	0,1	0,4	2,7	6,18	3,09%
737500	E170	5,1	0,8	4,5	1,4	11,87	5,94%
A320-232	E190	6,9	1,4	4,9	3,4	16,60	8,31%
CNA750	E50P	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,03%
FAL20	F2TH	0,2	0,0	0,1	0,1	0,46	0,23%
CNA750	FA50	0,1	0,0	0,0	0,1	0,16	0,08%
GIV	G150	0,1	0,0	0,1	0,0	0,23	0,12%
GII	GLF2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,03%
GIV	GLF4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,03	0,02%
CNA750	H25B	0,1	0,0	0,1	0,0	0,20	0,10%
CNA206	M18	0,1	0,0	0,1	0,0	0,13	0,07%
MD11GE	MD11	2,3	0,7	2,5	0,5	5,98	2,99%
MD11PW	MD11F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,03%
PA31	PAY2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,07	0,03%
C12	PAY3	0,0	0,1	0,1	0,1	0,33	0,16%
CNA750	PRM1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,26	0,13%
SABR80	SBR1	0,3	0,0	0,2	0,1	0,66	0,33%
[15]						<b>199,89</b>	<b>100%</b>

## ANEXO 4: Asignación de aeronaves en INM 7.0

## Asignación de Aeronaves en INM 7.0

OACI/DAC	INM	TIPO	PRECISIÓN	OBSERVACIONES
A319	A319-131	CIVIL	OK	
A320	A320-211	CIVIL	OK	
A343	A330-343	CIVIL	OK	
A748	HS-748A	CIVIL	OK	
ALH	777200	CIVIL	OK	
AS50	SA350D	HELICÓPTERO	OK	
AT45	U21	MILITAR	MEDIO	
B06	B206L	HELICÓPTERO	MEDIO	
B190	1900D	CIVIL	OK	
B350	C12	MILITAR	MEDIO	
B407	B222	HELICÓPTERO	MEDIO	
B721	727100	CIVIL	OK	
B722	727200	CIVIL	OK	
B732	737D17	CIVIL	OK	
B737	737700	CIVIL	OK	
B738	737800	CIVIL	OK	
B744	747400	CIVIL	OK	
B752	757PW	CIVIL	MEDIO	
B762	767CF6	CIVIL	MEDIO	
B763	767300	CIVIL	OK	
B772	777200	CIVIL	MEDIO	IGUAL A ALH
B77W	T34	MILITAR	MEDIO	
BE20	C12	MILITAR	MEDIO	IGUAL A B350
BE200	727100	CIVIL	MEDIO	IGUAL A B721
BE30	C12	MILITAR	MEDIO	IGUAL A BE20, B350
BE40	CNA55B	CIVIL	MEDIO	
BE90	C12	MILITAR	MEDIO	IGUAL A BE20, B350, BE30
BE9T	C12	MILITAR	MEDIO	SUMAR A LOS ANTERIORES
C130	C130AD	MILITAR	MEDIO	
C17	C135B	MILITAR	MEDIO	
C206	CNA206	CIVIL	OK	
C340	C12	MILITAR	MEDIO	SUMAR A LOS ANTERIORES
C414	C12	MILITAR	MEDIO	SUMAR A LOS ANTERIORES
C421	C12	MILITAR	MEDIO	SUMAR A LOS

				ANTERIORES
C550	CNA55B	CIVIL	OK	IGUAL AL BE40
C56X	CNA55B	CIVIL	MEDIO	IGUAL AL BE40, C550
C650	CNA55B	CIVIL	MEDIO	SUMAR A LOS ANTERIORES
C680	CNA55B	CIVIL	MEDIO	SUMAR A LOS ANTERIORES
C750	CNA750	CIVIL	OK	
CL64	CL600	CIVIL	OK	
CN35	C130AD	MILITAR	MEDIO	
D328	CNA55B	CIVIL	MEDIO	SUMAR A LOS ANTERIORES
DC10	MS11GE	CIVIL	MEDIO	
DHC6	C12	MILITAR	MEDIO	SUMAR A LOS ANTERIORES
E120	EMB120	CIVIL	OK	
E135	CNA55B	CIVIL	MEDIO	SUMAR A LOS ANTERIORES
E145	EMB145	CIVIL	OK	
E170	737500	CIVIL	MEDIO	
E190	A320-232	CIVIL	MEDIO	
E50P	CNA55B	CIVIL	MEDIO	SUMAR A LOS ANTERIORES
F2TH	FAL20	CIVIL	MEDIO	
FA50	CNA55B	CIVIL	MEDIO	SUMAR A LOS ANTERIORES
G150	GIV	CIVIL	OK	
GLF2	GII	CIVIL	OK	
GLF4	GIV	CIVIL	OK	
H25B	CNA55B	CIVIL	MEDIO	SUMAR A LOS ANTERIORES
H500	H500D	HELICÓPTERO	OK	
M18	CNA206	CIVIL	OK	IGUAL AL C206
MD11	MD11GE	CIVIL	OK	
MD11F	MD11PW	CIVIL	OK	
PAY2	PA31	CIVIL	MEDIO	
PAY3	PA30	CIVIL	MEDIO	
PRM1	CNA55B	CIVIL	MEDIO	SUMAR A LOS ANTERIORES
PUMA	SA330J	HELICÓPTERO	OK	
SBR1	SABR80	CIVIL	MEDIO	